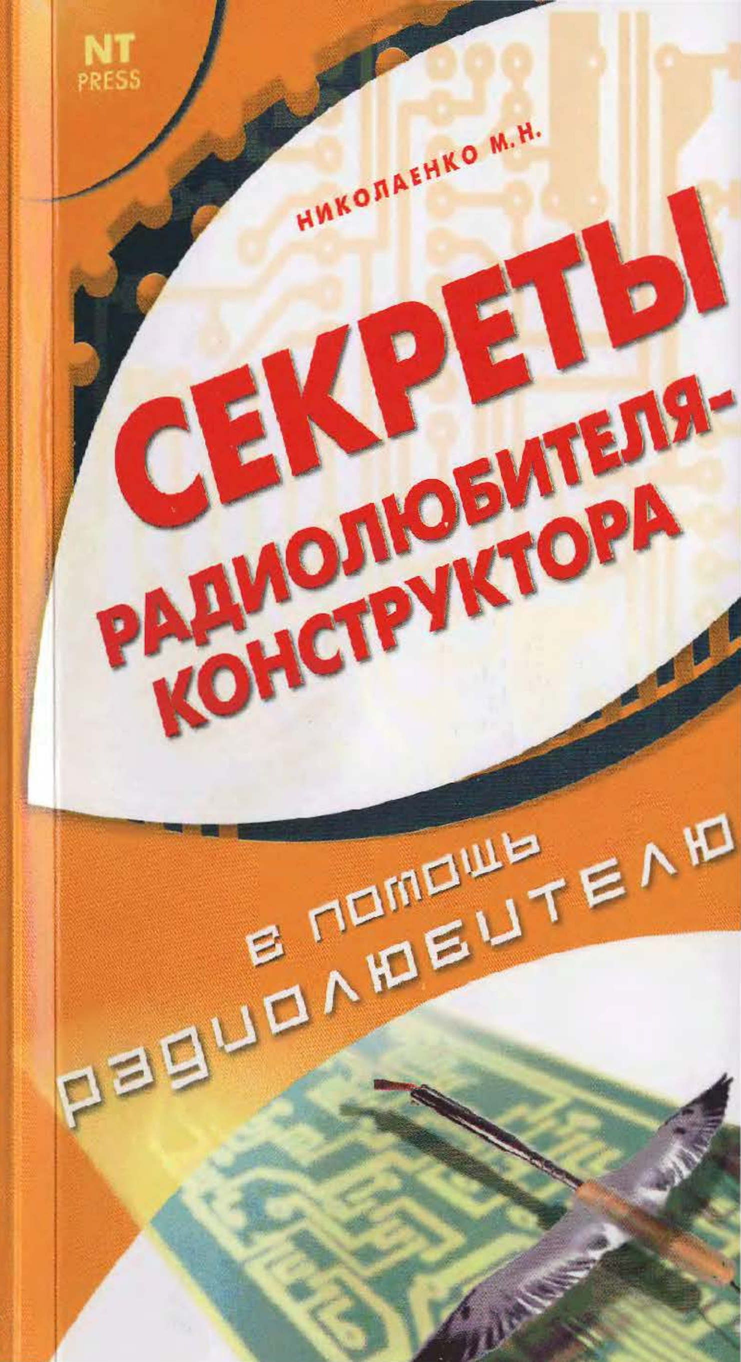

NT PRESS
НИКОЛАЕНКО М.Н.
СЕКРЕТЫ
РАДИОЛЮБИТЕЛЯ-
КОНСТРУКТОРА
в помощь
радиолюбителю
СЕКРЕТЫ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ-КОНСТРУКТОРА
NT PRESS

В помощь радиолюбителю

Николаенко М. Н.

СЕКРЕТЫ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ-КОНСТРУКТОРА

NT Press
МОСКВА · 2006

УДК 621.3
ББК 32.844
Н63

Николаенко, М.Н.

Н63 Секреты радиолюбителя-конструктора / Николаенко М.Н. — М.: НТ Пресс, 2006. — 320 с.: ил. — (В помощь радиолюбителю).

ISBN 5-477-00004-X

В книге представлены схемы и чертежи простых и недорогих устройств, значительно облегчающих работу радиомонтажника; дается множество полезных рекомендаций, которые сопровождаются необходимыми расчетами и теоретическими сведениями, что позволит незамедлительно перейти к самостоятельной работе.

Издание предназначено для широкого круга читателей – не только начинающих, но и опытных радиолюбителей, занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Также оно будет полезно работникам ремонтных мастерских.

УДК 621.3
ББК 32.844

Николаенко Михаил Николаевич

Секреты радиолюбителя-конструктора

Главный редактор *Захаров И. М.*
editor-in-chief@dmkpress.ru
Ответственный редактор *Захарова И. И.*
Верстка *Глоткин А. Л.*
Графика *Салимонов Р. В.*
Дизайн обложки *Клубничкин Д. Е.*

Подписано в печать 22.12.05. Формат 84x108/32.
Усл. печ. л. 16,8. Доп. тираж 3 000 экз. Заказ № 6167

Издательство «НТ Пресс», 129085, Москва,
Звездный б-р, д. 21, стр. 1.

Издание осуществлено при техническом участии
ООО «Издательство АСТ»

Отпечатано с готовых диапозитивов в
ООО «Типография ИПО профсоюзов Профиздат»
109044, Москва, Крутицкий вал, 18

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Второе издание книги (переработанное и дополненное) содержит наиболее полную подборку материалов по различным аспектам радиолюбительской деятельности и предназначено для широкого круга читателей – как радиолюбителей, так и специалистов, самостоятельно занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов.

Основная цель книги – заинтересовать читателя самостоятельной работой по изготовлению радиоэлектронных приборов, начиная с разработки топологии печатной платы и заканчивая сборкой готового устройства.

Анализ радиотехнической литературы за последние годы показывает, что изданий подобной тематики выпускалось очень мало, при этом они не охватывали весь спектр технологических процессов. Например, совсем не уделялось внимания таким важным сферам деятельности радиомонтажника, как изготовление печатных плат, приемы и способы пайки различных электрорадиоэлементов. Справочные сведения разбросаны по разным книгам и периодическим изданиям. Поиск нужной информации занимает порой слишком много времени. Предлагаемая книга предназначена для того, чтобы устранить эти «белые пятна» и вооружить радиолюбителя всеми необходимыми сведениями.

Первая глава посвящена вопросам организации рабочего места и содержит перечень приборов, инструментов и приспособлений, которые понадобятся при радиомонтажных работах, а также примеры изготовления полезных самоделок. Помимо всего прочего здесь рассматриваются меры безопасности при работе с электричеством.

Во второй главе описаны способы пайки, разновидности флюсов и припоев, особенности пайки различных металлов и сплавов, а также выполнение контактного соединения с помощью токопроводящего клея.

Третья глава содержит рекомендации по изготовлению печатных плат, методы разработки рисунка и нанесения его на плату, рецепты растворов для травления. Также в ней рассмотрены полезные возможности, появляющиеся при использовании персонального компьютера.

Четвертая глава посвящена особенностям проверки и сборки печатных плат, а также ремонту печатного монтажа.

В пятой главе представлены полезные советы и сведения, необходимые монтажнику-радиолюбителю для успешной работы, порядок самостоятельного изготовления трансформатора, методики изготовления корпусов приборов из металла, дерева, органического стекла и эпоксидной смолы, способы окраски металлических и деревянных деталей, применяемых в радиолюбительской технологии, а также изделий из оргстекла.

В шестой главе приведены методы проверки электрорадиоэлементов, а также порядок проведения некоторых электрических измерений.

Седьмая глава посвящена расчету намоточных узлов аппаратуры и простейших электрических схем.

В приложениях содержатся различные справочные данные, необходимые при изготовлении и настройке радиолюбительских конструкций, маркировка резисторов и конденсаторов, а также много другой полезной информации.

ГЛАВА СТРАНИЦА

1 РАБОЧЕЕ МЕСТО РАДИОМОНТАЖНИКА

1.1. СТОЛ ДЛЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Рабочее место радиолюбителя – это часть площади домашней мастерской, предназначенная для выполнения электро- или радиомонтажных работ. Оно должно быть оснащено необходимым оборудованием, инструментами, приспособлениями и другими материально-техническими средствами. Кроме того, под рукой всегда нужно иметь техническую документацию. Рабочее место должно обеспечивать максимальный комфорт, так как от этого зависят качество и сроки выполнения изделий.

Радиолюбительские работы сводятся в основном к электро- или радиомонтажу, демонтажу, замене деталей, сборке и регулировке, проверке изделия на работоспособность и соответствие его характеристик и параметров существующим нормам. Поэтому и оснащение рабочего места, насыщенность приборами и оборудованием должно максимально соответствовать выполнению этих задач. Идеальное рабочее место (рис. 1.1) должно оснащаться следующим основным оборудованием:

- рабочий стол;
- стул;
- щиток питания с клеммами для заземления;
- браслет и коврик для защиты от статического электричества;
- регулируемый по высоте и горизонтали светильник;
- дымоуловитель или газоприемник местной вытяжной вентиляции;
- убирающаяся подвеска для чертежей и схем;
- контрольно-измерительные и электрические приборы;
- комплект инструментов для проведения монтажно-демонтажных работ;
- дополнительный столик на колесах для размещения приборов или компьютера;
- урна для мусора.

Рабочий стол (рис. 1.2), предназначенный для электро- или радиомонтажных работ в условиях единичного мелкосерийного производства, изготавливается в зависимости от индивидуальных особенностей человека (учитывается, например, его рост и то, какой рукой он предпочитает работать). Поверхность стола должна быть такой, чтобы на ней свободно размещались ремонтируемая



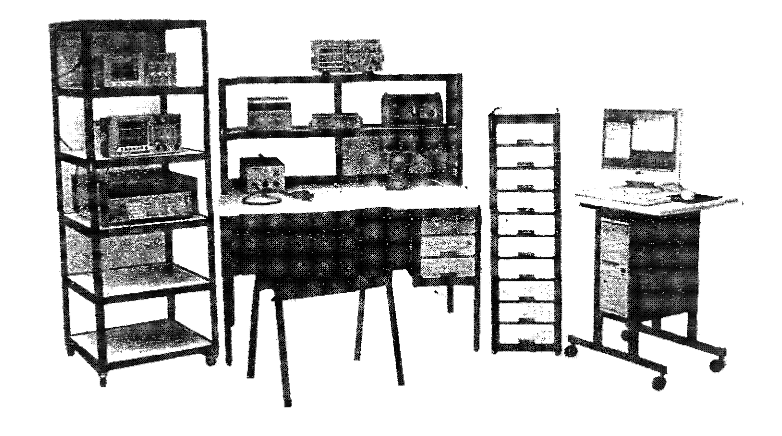


Рис. 1.1. Идеальное рабочее место радиолюбителя

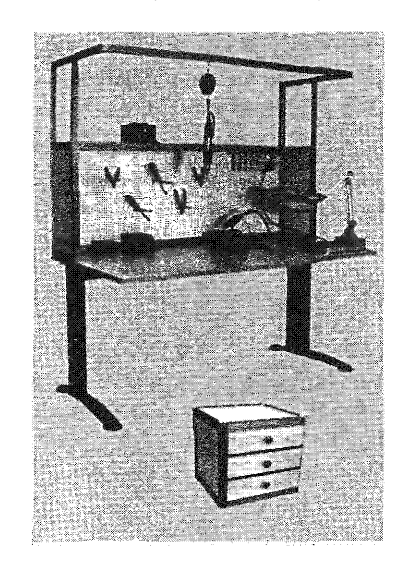


Рис. 1.2. Рабочий стол радиомонтажника

аппаратура, паяльник, монтажный инструмент и измерительные приборы. Крышка стола покрывается жаропрочным изоляционным материалом (гетинакс, текстолит или резина). В ящиках обычно размещаются инструменты, монтажные провода

и ремонтно-эксплуатационные материалы, крепежные детали (винты, гайки, шайбы, заклепки), материалы для пайки, чертежи, справочная литература, техническая документация и т.п. На полках и под ними, а также на задней части крышки стола устанавливаются различные измерительные приборы, используемые для отладки и регулировки. Лучше всего, разумеется, использовать промышленный стол регулировщика-радиомонтажника, но вполне подойдет и обычный письменный стол, переоборудованный соответствующим образом.

Стул должен быть удобным для длительной работы. Хорошо подходит компьютерный винтовой стул (для регулировки высоты) на колесиках и без подлокотников.

Рациональное расположение инструментов и правильная планировка рабочего места способствуют устранению излишних движений и уменьшению утомляемости, что сокращает потери рабочего времени и увеличивает производительность труда. Необходимо знать, что регулируемая высота сиденья стульев, а также расположение рабочих поверхностей (рис. 1.3) позволяют обеспечить радиомонтажнику наиболее благоприятные *условия труда*.

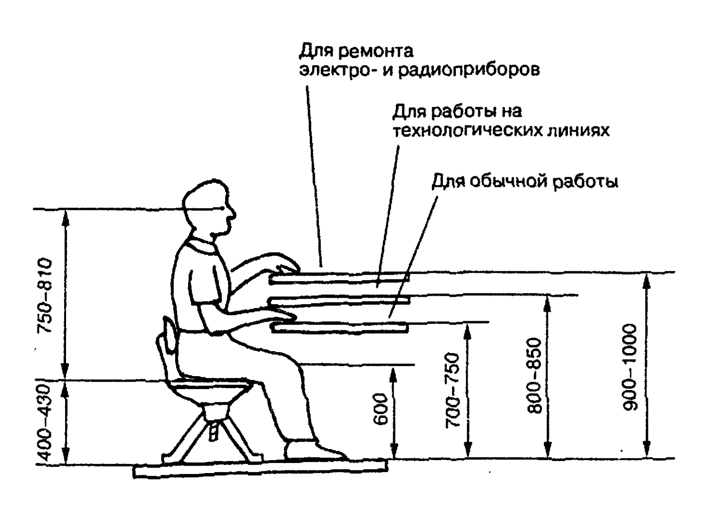
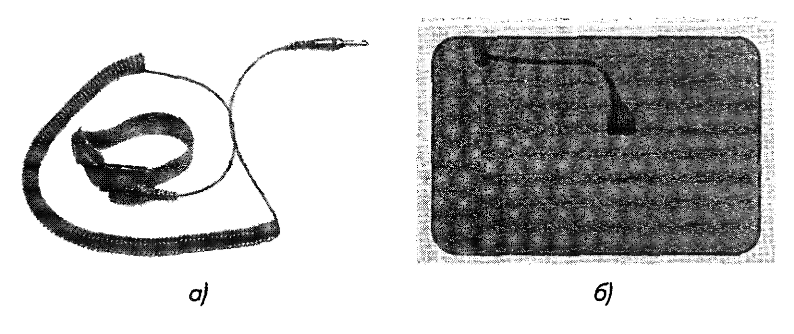


Рис. 1.3. Уровни рабочих поверхностей стола

На дополнительном столике на колесах можно разместить редко используемые или габаритные приборы, а также компьютер, чтобы не загромождать основное рабочее место. Антистатический браслет предназначен для снятия статического электричества с тела и рук радиомонтажника (рис. 1.4а). Настольный коврик из термостойкой резины служит для создания антистатической защиты рабочей поверхности стола (рис. 1.4б).



а) б)

Рис. 1.4. Антистатический браслет с проводом заземления (а), антистатический настольный коврик (б)

Все подводимые питающие напряжения рекомендуется вывести на щиток питания, откуда они распределяются по потребителям энергии. На этом же щитке может размещаться специальный понижающий трансформатор или регулятор температуры жала паяльника, а также приборы защиты и клемма заземления. Розетки для электропитания измерительных приборов целесообразно помещать непосредственно на полки. Клеммы ввода электроэнергии к рабочему месту необходимо оградить во избежание случайного прикосновения. Штепсельные разъемы, а также заделка проводов и кабелей в электроинструментах должны строго соответствовать техническим требованиям. Напряжение питания для обжигалок и пробников должно составлять 6–12 В, для электропаяльника и тиглей – 36 В, для измерительной аппаратуры – 220 В. Таким образом, электрощиток должен обеспечивать выходное переменное напряжение 6, 12, 36 и 220 В. Для наладки создаваемых устройств и ремонта

приборов желательно иметь отдельный блок питания с регулируемым постоянным выходным напряжением 3–30 В.

При работе с полупроводниковыми приборами и микросхемами необходимо помнить, что должны быть *заземлены* руки радиомонтажника, корпус (жало) электропаяльника, корпуса полуавтоматических и автоматических установок, предназначенных для монтажа полупроводниковых приборов и микросхем, корпуса измерительной и другой аппаратуры.

Все не подсоединенные к линии заземления предметы (инструменты, малогабаритные приборы, комплектующие изделия в металлической антистатической таре и без нее и т.д.) следует располагать на заземленной металлической пластине рабочего стола. Пол под ногами радиомонтажника должен быть сухим и изолированным от металлических частей оборудования. Для этого хорошо подходит диэлектрический коврик.

Общего *освещения* обычно недостаточно, поэтому над столом устанавливают дополнительный светильник. Комбинированное освещение (общее и местное) должно обеспечивать освещенность в рабочей зоне 300–400 лк.

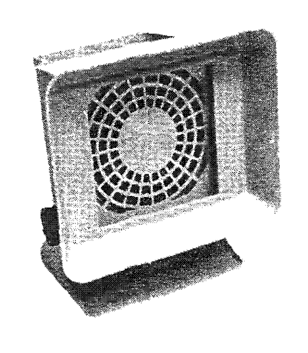


Рис. 1.5. Дымоуловитель

В рабочей зоне должен поддерживаться соответствующий *микроклимат* (табл. 1.1). В заводских производственных помещениях такие параметры обеспечивает общеобменная и местная вентиляция. В домашних условиях полезно приобрести специальный дымоуловитель (рис. 1.5) со сменными фильтрами. Однако многие радиолюбители в лучшем случае довольствуются только местной вытяжкой, подвергая опасности свое здоровье.

При необходимости в мастерской могут быть оборудованы рабочие места для выполнения слесарных, токарных или других видов работ. Площадь рабочего места слесаря должна быть не менее 1,6 м^2. Основное оборудование – верстак, табурет, тиски, а также приспособления для закрепления обрабатываемых деталей.

Таблица 1.1. Параметры микроклимата в рабочей зоне

Параметр	Осень, зима, весна	Лето
Температура в рабочей зоне, °С	18–20	22–25
Относительная влажность воздуха, %	40–60	40–60
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,3

Если не полный комплект, то хотя бы некоторые элементы *рабочего места для слесарных и столярных работ* обязательно понадобятся. Рано или поздно каждый радиолюбитель сталкивается с необходимостью самостоятельного изготовления каких-либо деталей, корпусов приборов, их окраски и т.д. Не рекомендуется проводить радиомонтажные и слесарные работы на одном и том же рабочем месте. Для разных видов деятельности желательно иметь отдельные специально оборудованные места.

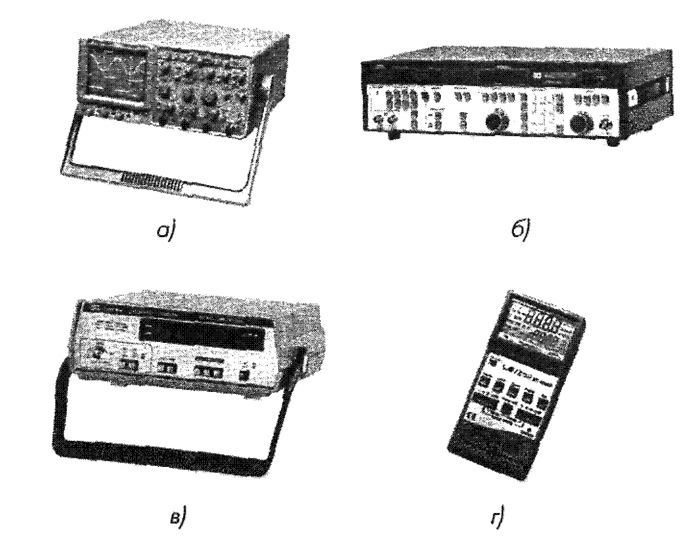
1.2. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ

Радиомонтажнику приходится использовать самые различные приборы, инструменты и приспособления. Их состав каждый работник определяет для себя сам, исходя из своих потребностей и возможностей, а также целей и поставленных задач. Далее в этой главе приведен примерный перечень оборудования и инструментов рабочего места радиомонтажника, а также их назначение.

1.2.1. Примерный перечень оборудования

К основным *электрическим приборам* и оборудованию относят следующие:

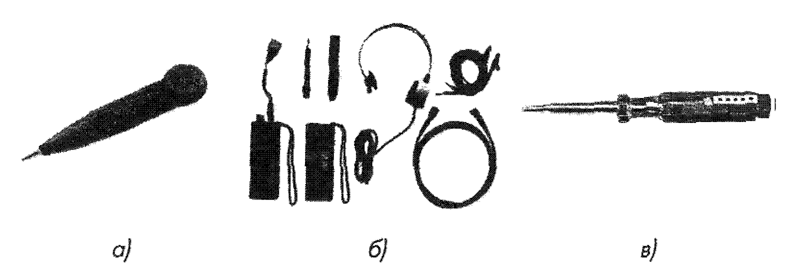
- контрольно-измерительные приборы (осциллограф, многофункциональный генератор, частотомер, измеритель RLC и т.д.) для ремонта и настройки приборов (рис. 1.6);
- пробник для проверки радиоцепей, а также логический пробник для проверки цифровых схем (рис. 1.7а);
- пробник для прозвонки электрических цепей (рис. 1.7б);
- индикатор для определения наличия напряжения в цепях переменного и постоянного тока 110–380 В (рис.1.7в);



а) б)

в) г)

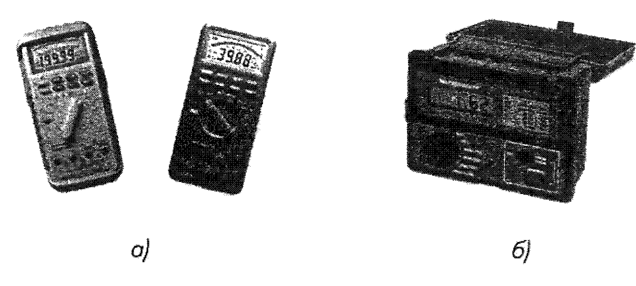
Рис. 1.6. Контрольно-измерительные приборы: а — осциллограф; б — генератор; в — частотомер; г — измеритель RLC



а) б) в)

Рис. 1.7. Пробники для проверки радиоцепей (а) и прозвонки проводов (б), индикатор напряжения (в)

- универсальный электроизмерительный прибор (тестер или мультиметр) для измерения режимов при ремонте аппаратуры (рис. 1.8а);
- мегаомметр (рис. 1.8б) для измерения сопротивления изоляции деталей (элементов схем) и проводов относительно корпуса («земли»);



а) б)

Рис. 1.8. Мультиметр (а) и мегаомметр (б)

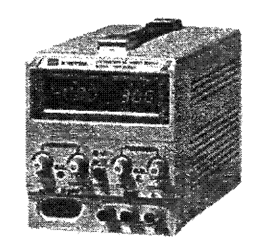
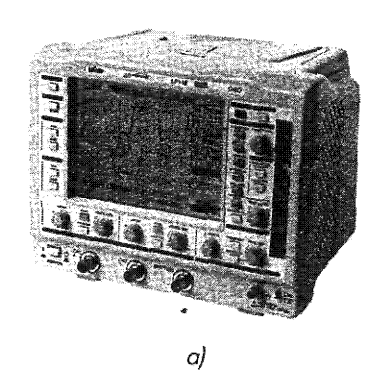
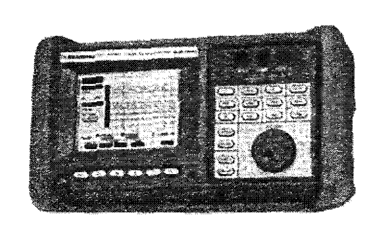


Рис. 1.9. Универсальный источник питания постоянного тока

- универсальный источник питания постоянного тока (рис. 1.9) и автотрансформатор.

В последние годы появилось много новых моделей приборов, сочетающих в себе сразу несколько функций. Например, цифровой запоминающий осциллограф (рис. 1.10а) позволяет не только оценить форму сигнала, но и автоматически измерить до 13 его параметров с цифровой индикацией на экране, записать осциллограмму на дискету и распечатать ее, подключиться к персональному компьютеру и т.д. Другой поистине уникальный комбинированный измерительный прибор включает в себя цифровой запоминающий осциллограф, частотомер, мультиметр и логический анализатор, и работает от встроенного аккумулятора (рис. 1.10б). Эти удивительные приборы понравятся любому радиолюбителю, вот только их цена подойдет не каждому.



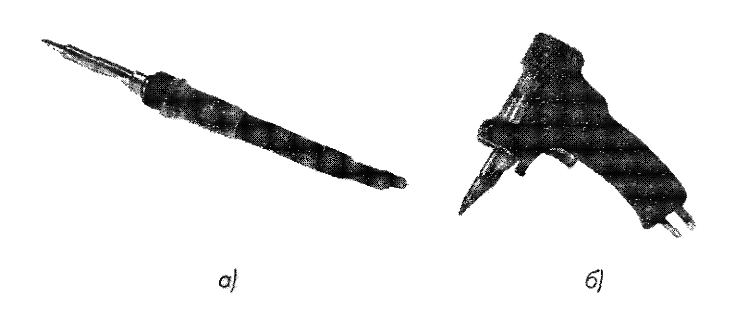


а) б)

Рис. 1.10. Цифровой запоминающий осциллограф (а) и комбинированный измерительный прибор (б)

В работе радиомонтажнику непременно понадобятся следующие *инструменты* и приспособления:

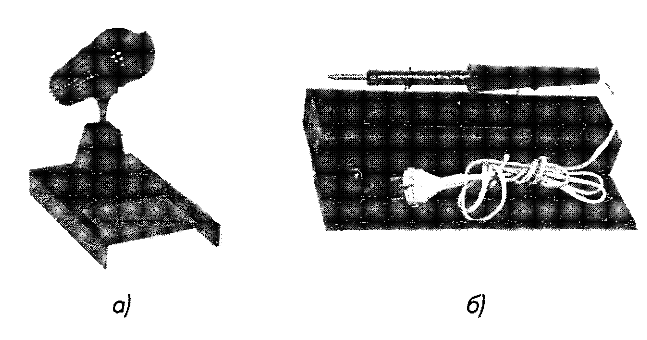
- электрические монтажные паяльники (рис. 1.11а) на 25, 40 и 150 Вт, желательно со сменными стержнями разного диаметра (наконечниками для стержней). При монтаже лучше использовать паяльники, рассчитанные на питание переменным током от понижающего трансформатора напряжением 36 В. Паяльники с питанием от сети 220 В применять не рекомендуется, так как в случае пробоя изоляции между нагревателем и стержнем человек может попасть под опасное для жизни напряжение. Для демонтажа старых плат удобно иметь специальный демонтажный вакуумный паяльник (рис. 1.11б);



а) б)

Рис. 1.11. Электрические паяльники: а – монтажный; б – демонтажный

- подставка (держатель) для электропаяльника (рис. 1.12а) или паяльный набор (рис. 1.12б);



а) б)

Рис. 1.12. Держатель для паяльника (а) и паяльный набор (б)

- опытные радиолюбители и профессиональные радиомонтажники могут приобрести паяльные инструменты нового поколения, например современную паяльную станцию с антистатической защитой и цифровой индикацией температуры паяльника (рис. 1.13). Подобные инструменты рекомендуются для монтажа полевых транзисторов и микросхем, выполненных по КМОП технологии;



Рис. 1.13. Паяльная станция

- мини-дрель для сверления отверстий диаметром 1–3 мм в печатных платах;
- микрометр 0–25 мм для измерения диаметра проводов (рис. 1.14а);

- перочинный или монтажный нож для зачистки проводов от изоляции, разделки концов кабелей, обрезки ниток и других вспомогательных работ;
- отвертки с шириной наконечника 3, 5 и 8 мм, разной длины, а также крестообразные (рис. 1.14б). При необходимости можно приобрести набор отверток со сменными наконечниками разной конфигурации. Размеры наконечника отвертки должны точно соответствовать шлицу винта (наконечник плотно входит в шлиц), иначе можно сорвать шлиц. Ручки отверток должны быть сделаны из изоляционного материала. Удобно использовать также электроотвертку. Для работы в электрических цепях потребуется отвертка с изолированным наконечником (рис. 1.14в);

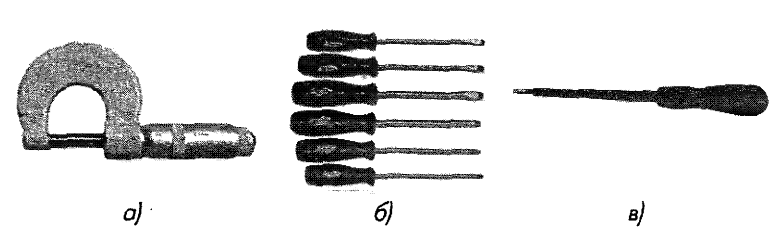
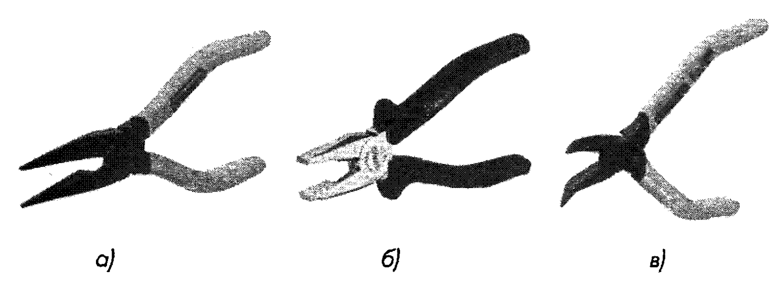


Рис. 1.14. Микрометр (а), набор отверток (б), отвертка электрика (в)

- отвертки диэлектрические или из немагнитного материала для регулировки контуров с сердечниками;
- отвертки часовые (набор) для выполнения мелких монтажных работ;
- пинцеты (часовые и анатомические). Они очень удобны для выполнения различных работ, особенно для фиксации деталей и проводов при пайке. Часовые пинцеты применяются при монтажных работах с малогабаритными деталями и проводом диаметром до 0,1 мм. Наиболее подходящий размер пинцета – 150 мм;
- плоскогубцы различных видов (рис. 1.15). Первые – размером 100–120 мм с тонкими и узкими губками без насечки – предназначены для того, чтобы при сгибании голого провода не портить его поверхность, а при укладке изолированного провода не повредить изоляцию. Вторые – размером 150–170 мм с насечкой на губках – служат для

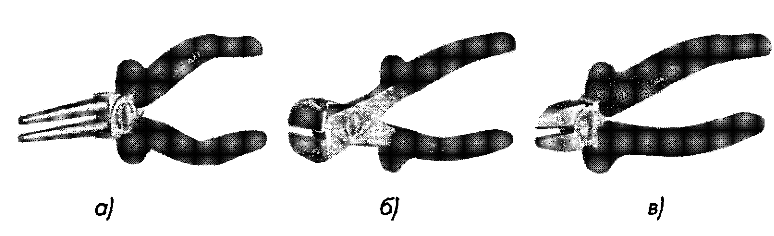
вытягивания или выпрямления толстых одножильных проводов, поджатия различных крепежных скобок и других работ. Третьи – с удлиненными (иногда изогнутыми) губками – для работы в труднодоступных местах;



а) б) в)

Рис. 1.15. Различные виды плоскогубцев: а – плоскогубцы с губками без насечек; б – плоскогубцы с насечками или пассатижи; в – плоскогубцы для работы в труднодоступных местах

- круглогубцы (рис. 1.16а). Первые – размером 40–50 мм, тонкие, диаметром 1,5 мм у концов и 5 мм у основания губок. Ими удобно изгибать проволочные выводы деталей с радиусом от 0,75 до 2,5 мм. Вторые – размером 150 мм, с насечкой на сходящихся поверхностях губок. Диаметр губок у концов – 3–3,5 мм, у оснований – 7–8 мм. Такие круглогубцы используются при монтаже оголенным проводом диаметром 1,5–2 мм. Ими удобно делать кольца на конце провода для крепления под гайку;
- кусачки торцовые и боковые («бокорезы»). Размер – 100–130 мм. Отметим, что торцовые кусачки более прочны. Их размер может составлять 150–200 мм (рис. 1.16б,в);



а) б) в)

Рис. 1.16. Круглогубцы (а), кусачки торцовые (б) и боковые (в)

- кусачки или плоскогубцы для зачистки (снятия изоляции) проводов, электропассатижи (стрипперы) – рис. 1.17;



а) б)

Рис. 1.17. Кусачки для зачистки проводов (а) и электропассатижи (б)

- пассатижи для установки и опрессовки разъемов (кримперы) – рис. 1.18;

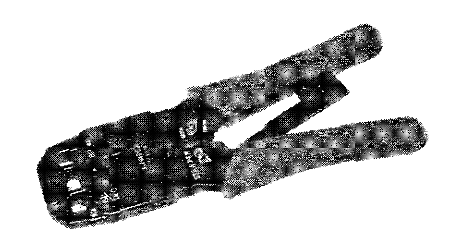
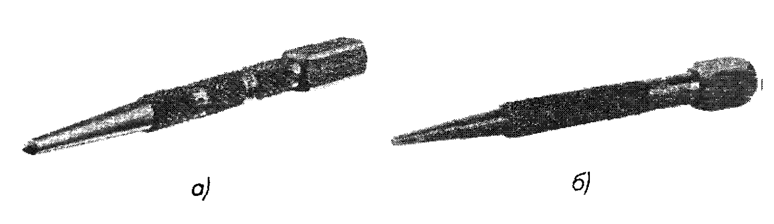


Рис. 1.18. Пассатижи для опрессовки разъемов

- набор для монтажа накруткой;
- щипцы с длинной ручкой для лужения плат;
- трехкратная лупа для проведения мелких работ;
- зеркало для осмотра труднодоступных мест;
- конторские ножницы размером 150–200 мм;
- электрический удлинитель;
- приспособление для намотки катушек;
- резиновая груша для продувки монтажа;
- набор щеток и кистей для чистки от пыли печатных плат и монтажа конструкции.

Для *слесарных работ* при изготовлении корпусов приборов, а также для окраски деталей понадобятся дополнительные инструменты:

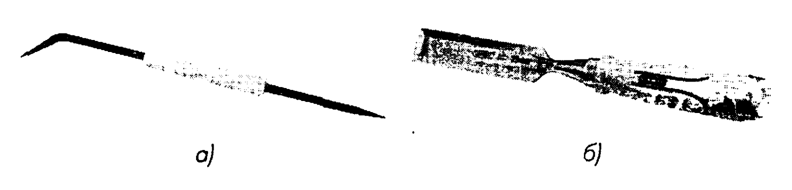
- слесарные молотки на 200 и 500 г с деревянной ручкой длиной 230–250 мм;
- киянка (деревянный молоток);
- зубило для рубки листового материала или вырубания в нем отверстий;
- кернер для обозначения места сверления (имеет форму цилиндра с концом в виде конуса, заостренным под углом 60°) – рис. 1.19а;
- *бородки́ для пробивания отверстий в листовом металле* (имеют коническую форму с плоским рабочим концом) – рис. 1.19б;



а) б)

Рис. 1.19. Кернер (а) и бородок (б)

- выколотка для извлечения штифтов, шпилек, заглушек и т.д. В отличие от бородков имеет цилиндрическую форму с плоским рабочим концом;
- чертилка для разметки изделий (рис. 1.20а). Это круглый пруток из инструментальной стали диаметром 3–4 мм и длиной 100–120 мм с остро заточенным концом;
- *стамески разной ширины для вырубания отверстий и пазов в деревянных деталях* (рис. 1.20б);

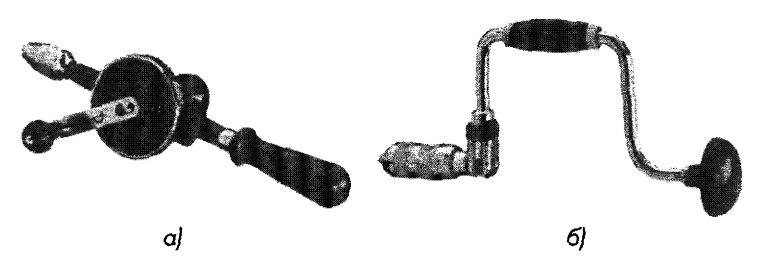


а) б)

Рис. 1.20. Чертилка (а) и стамеска (б)

- пассатижи или плоскогубцы;
- ножовки по дереву и металлу с запасными полотнами;

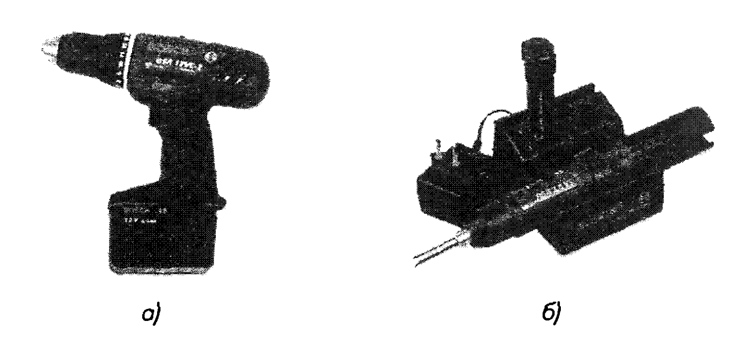
- ножницы по металлу;
- стационарные и ручные тиски;
- струбцины для зажимов;
- ручная или электрическая (до 10 мм) дрель либо коловорот (рис. 1.21);



а) *б)*

Рис. 1.21. Ручная дрель (а) и коловорот (б)

- шуруповерт или аккумуляторная отвертка (рис. 1.22);



а) *б)*

Рис. 1.22. Аккумуляторная дрель-шуруповерт (а) и электрическая отвертка (б)

- лобзик с пилками по дереву и металлу для выпиливания фигурных панелей, отверстий и т.д.;
- комплект плоских и крестообразных отверток разной длины диаметром 3, 4, 5 и 10 мм;
- комплект гаечных ключей (торцовые и накидные) размером от 3 до 16 мм;
- комплект метчиков и плашек для нарезания резьбы М2,5, М3, М4, М5, М6 с воротком и плашкодержателем;

- комплект сверл диаметром от 1 до 10 мм (желательно через 0,2–0,3 мм);
- *напильники драчевые, личные, бархатные и набор надфилей* для обработки металлических поверхностей;
- абразивы – бруски и точильные круги для заточки инструмента, шлифовальные шкурки, полировочные пасты и т.д. – для отделочных и других видов работ;
- штангенциркуль (рис. 1.23а) для измерения внешнего и внутреннего диаметра;
- металлические линейки длиной 150, 300, 500 и 1000 мм;
- угольник для разметки и проверки правильности обработки изделий;
- разметочный циркуль (рис. 1.23б);

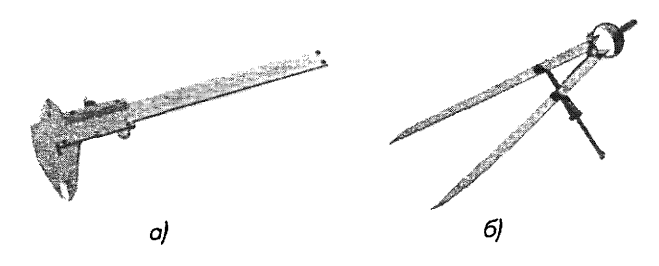


Рис. 1.23. Штангенциркуль (а) и разметочный циркуль (б)

- резьбомер;
- кисти для малярных работ;
- защитные очки для предохранения глаз от попадания пыли и стружки;
- хлопчатобумажные и брезентовые перчатки.

Практически все перечисленное оборудование и инструменты можно приобрести в специализированных магазинах или на рынках. Его ассортимент и качество всецело будут зависеть от ваших потребностей и финансовых возможностей. Приобретайте инструменты и приспособления последовательно, не стремитесь купить все сразу. Однако не забывайте о том, что скупой платит дважды. Не польститесь на низкую цену предлагаемого вам инструмента. Он может выйти из строя уже через несколько дней, а добротный и надежный инструмент прослужит вам долгие годы, сэкономит время и сбережет нервы, не говоря уже

о деньгах. Однако многие приспособления можно изготовить самому, потратив при этом минимум времени и средств (см. разделы 1.3 и 1.4).

1.2.2. Хранение инструментов и деталей

Приспособления для *хранения инструментов* имеют важное значение в работе радиомонтажника. Инструменты можно хранить в ящике рабочего стола и при выполнении работ размещать на тыльной стенке рабочего стола (см. рис. 1.2). Однако все приспособления можно изготовить самостоятельно. Никаких дефицитных материалов для этого не понадобится. Например, на стене перед рабочим столом или в другом удобном месте комнаты закрепляют деревянную планку, к которой в нескольких местах прибивают полосу толстой резины или старый ремень (рис. 1.24). Необходимые инструменты – отвертку, пассатижи, напильник и др. – вставляют между точками креплений резины.

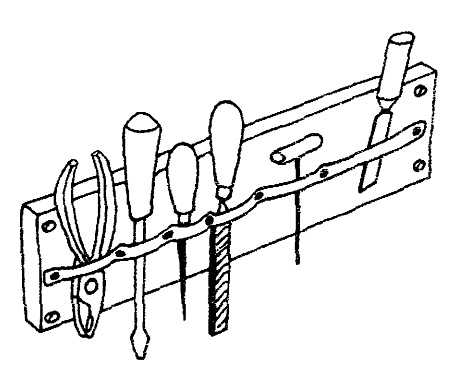


Рис. 1.24. Хранение инструментов под резиной

В другом варианте (рис. 1.25) понадобятся использованные деревянные швейные катушки. Они крепятся клеем или саморезами в любом удобном месте, скажем, на внутренней стенке шкафа или рабочего стола. С таким приспособлением инструменты во время работы всегда будут под рукой. Вместо швейных катушек можно использовать любые другие, имеющиеся в наличии.

Старые перчатки можно переделать в своеобразный «патронташ» для хранения рабочих инструментов (рис. 1.26). Для

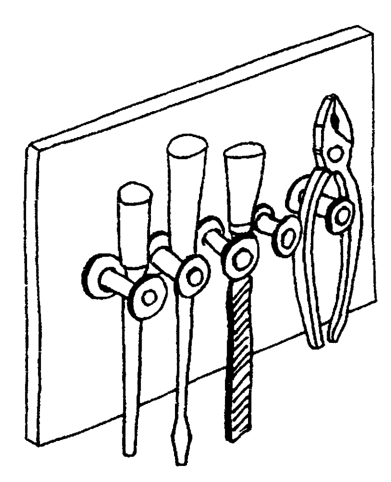


Рис. 1.25. Приспособление из швейных катушек для хранения инструмента

этого пальцы у перчатки обрезают, а остальную часть подгибают и сшивают петлей, куда продевается ремень. В отверстиях для пальцев можно разместить все необходимое для работы.

Некоторые слесарные инструменты, скажем, шило, отвертки, стамески, напильники, удобно хранить в вертикальном положении в ящике с песком.

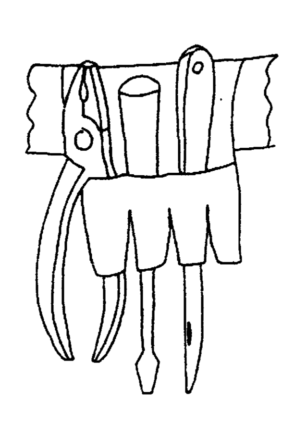


Рис. 1.26. Хранение инструментов в «патронташе»

Довольно часто при выполнении работ требуется определенный набор инструментов. Скомплектовать и разместить их очень просто на универсальной переносной подставке (рис. 1.27). Основание подставки диаметром 300–400 мм вырезают из доски или фанеры толщиной 10–15 мм. В центре помещают стойку с ручкой, на которой закрепляют диск с отверстиями под инструменты. На основании подставки располагают пластиковые или металлические емкости.

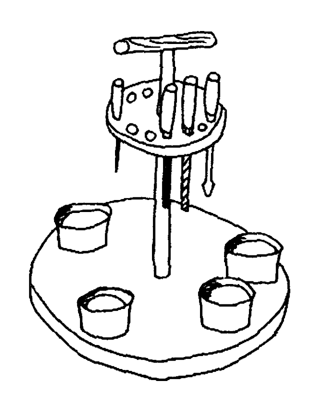


Рис. 1.27. Хранение инструментов на вращающейся стойке

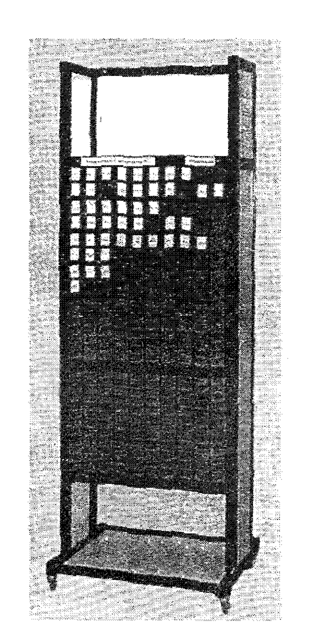


Рис. 1.28. Стойка для хранения компонентов

Разумеется, варианты приспособлений для хранения инструментов не ограничиваются перечисленными выше. Любой радиомонтажник без особого труда может сконструировать свое собственное оборудование.

Для хранения *деталей* удобно использовать специальные ячейки, собранные определенным образом в кассетницу или стойку (рис. 1.28). Однако радиолюбители могут использовать самые различные приспособления. Простейшую кассетницу для мелких элементов (например, резисторов и конденсаторов) можно быстро изготовить из нескольких спичечных коробков (рис. 1.29а), лучше деревянных, а не картонных. Их складывают в две, три или даже пять одинаковых стопок и склеивают. Чтобы конструкция была прочнее, коробки можно обмотать изоляционной лентой. На ящичках подписывают номиналы тех деталей, которые будут в них храниться.

Временную кассетницу для хранения небольшого количества резисторов или конденсаторов можно сделать из куска пенопласта – детали втыкают вдоль разграничительных линий, проведенных маркером или фломастером. Рядом с каждой линией проставляют соответствующее значение номинала (рис. 1.29б).

Для хранения мелких деталей удобнее использовать фототеки – коробки с секциями (рис. 1.29в). Для их изготовления подойдет органическое стекло, пластик, гетинакс, текстолит или тонкая фанера.

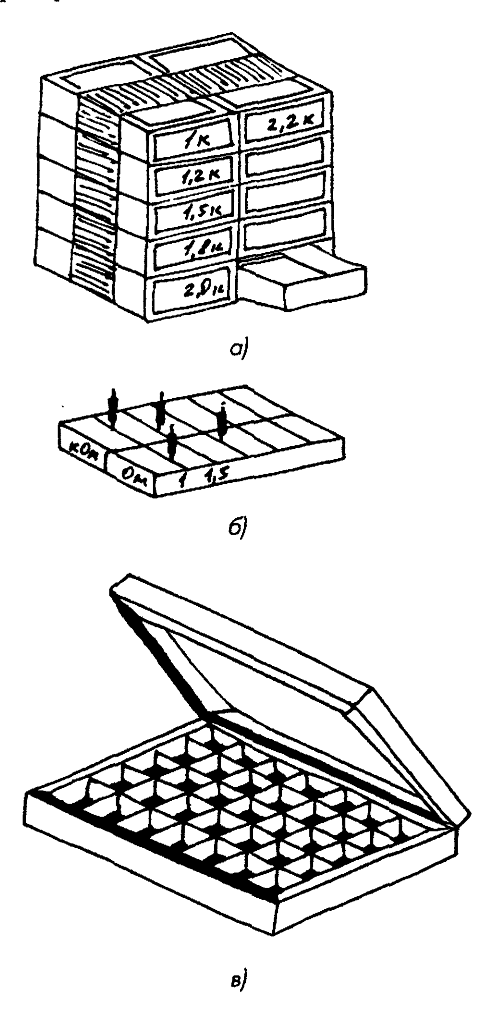


Рис. 1.29. Кассетницы для хранения деталей

Если в рабочем столе есть выдвижной ящик, то его нетрудно переоборудовать в кассетницу (рис. 1.30), причем сам ящик

никакой доработке не подвергается. Секции кассетницы разграничивают деревянными или изготовленными из органического стекла планками с прорезями.

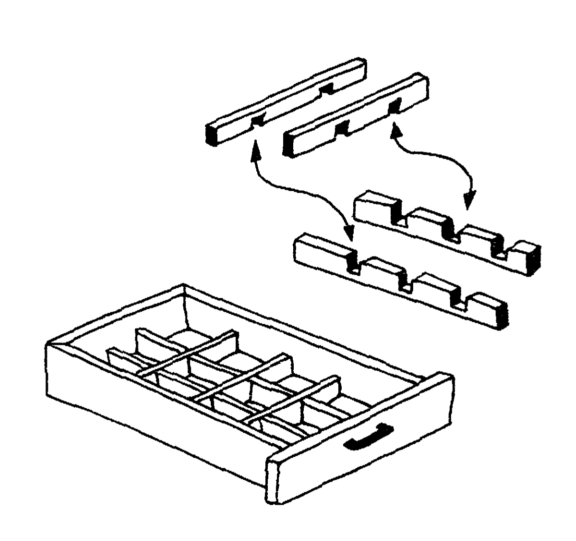


Рис. 1.30. Кассетница в ящике стола

Для хранения деталей можно изготовить самые разнообразные приспособления – их конструкция целиком зависит от вашей фантазии.

1.3. НОВЫЙ СТАРЫЙ ПАЯЛЬНИК

Каков же «обычный» паяльник сегодня? Можно выделить три следующих категории:

- паяльники для «тяжелых» работ имеют мощность свыше 150 Вт. Они предназначены для лудильных работ, для выжигания на дереве, коже и пластмассе с использованием специальных насадок. Их отличительной особенностью является вес (300 г и более), широкое жало и высокая температура нагрева;
- к категории «инструмент электрика» относятся паяльники мощностью 40–150 Вт. Они предназначены для пайки медных проводников с площадью сечения 2–6 мм^2. Время разогрева составляет 2–3 мин;

- паяльники мощностью 15–25 Вт наиболее соответствуют нуждам радиомонтажников электронной аппаратуры. Их время нагрева составляет до 1 мин.

При выборе инструмента проанализируйте его технические параметры, поинтересуйтесь ценой, примите во внимание такие параметры, как долговечность и разнообразие сменных паяльных жал или насадок для выпаивания. Учтите отзывы специалистов о репутации торговой марки, удостоверьтесь в гарантиях продавца и – за дело. С качественным инструментом вы можете расширить горизонты своих возможностей.

1.3.1. Подставка под паяльник

Это приспособление настолько важно и необходимо, что следует посвятить ему отдельный раздел. Его использование значительно повышает удобство при выполнении монтажной работы и предохраняет поверхность рабочего стола от повреждения горячим жалом. В специализированных магазинах можно купить современный держатель для паяльника (см. рис. 1.12). Некоторые модели даже имеют специальную губку для очистки жала.

Временную подставку под паяльник можно соорудить буквально за несколько минут, если воспользоваться металлической катушкой из-под медного обмоточного провода (рис. 1.31). Для большей устойчивости подставки щечки катушки нужно отогнуть.

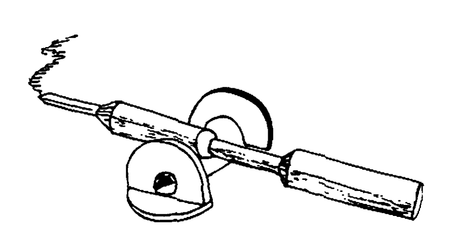


Рис. 1.31. Подставка под паяльник из металлической катушки

Однако более распространена деревянная подставка с двумя металлическими стойками (рис. 1.32). На ее основании целесообразно укрепить металлические баночки (скажем, от крема) под флюс и припой.

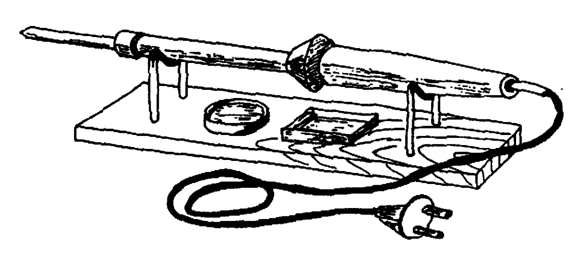


Рис. 1.32. Подставка под паяльник со стойками

Наиболее универсальной считается металлическая подставка-шкатулка (рис. 1.33) с открывающейся крышкой. Внутри нее размещают отсеки для флюса, припоя и различных деталей. В рабочем положении паяльник лежит на двух откидывающихся стойках из толстой проволоки. По окончании паяльных работ крышку подставки закрывают, а стойки складывают.

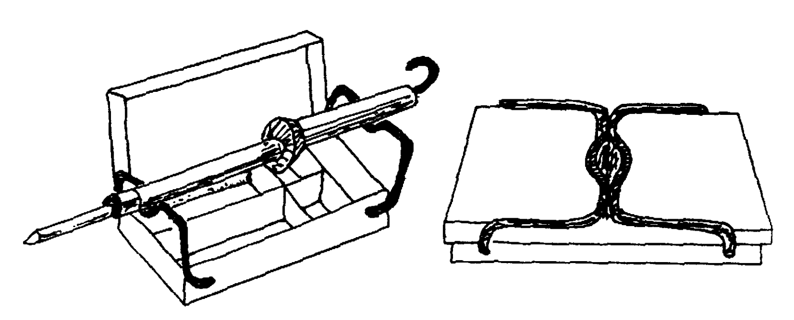


Рис. 1.33. Подставка-шкатулка под паяльник

Подставку желательно дополнить регулятором мощности паяльника, чтобы во время работы жало не перегревалось и не покрывалось окалиной. Поддержание его в надлежащем состоянии – одно из важнейших условий качественного монтажа радиодеталей.

1.3.2. Получение нужной температуры паяльника

Многие знают, что для получения качественной пайки при монтаже радиодеталей необходимо, чтобы жало паяльника было ровным, без впадин и заусениц, а его температура соответствовала рабочей температуре припоя. Отметим, что у разных марок припоя она отличается. Если жало паяльника перегрето, припой будет окисляться, и пайка получится недостаточно прочной.

Кроме того, в этом случае жало паяльника быстро обгорает, и припой вообще перестает на нем держаться. Оптимальной считают такую температуру жала, при которой канифоль не испаряется сразу, а держится на жале в виде расплавленных блесток. Качественная пайка имеет зеркальный блеск после остывания, и получить ее можно только при определенной температуре. Так для наиболее распространенной марки припоя ПОС-61 температура пайки составляет 190–260 °С. Рекомендуемая температура пайки микросхем – 235 ± 5 °С при продолжительности воздействия не более 2 с.

При покупке простейшего дешевого паяльника на сетевое напряжение 220 В, как правило, выясняется, что он перегревается и плохо паяет. Устранить эту проблему можно несколькими путями.

Первый способ. Если паяльник имеет жало в виде стержня, который фиксируется на корпусе с помощью винта (рис. 1.34), то, регулируя длину погружения стержня в нагреватель, можно легко изменить температуру. Однако такую конструкцию крепления жала имеют не все паяльники, поэтому данный метод может оказаться неприемлемым.

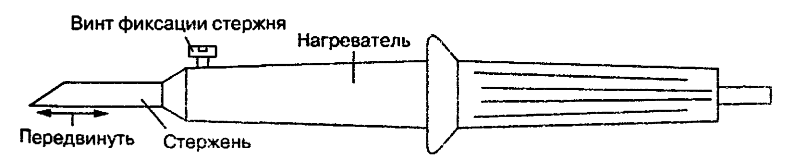


Рис. 1.34. Конструкция паяльника с перемещаемым жалом

Второй способ. Можно воспользоваться автотрансформатором или трансформатором с большим числом отводов. В этом случае температура регулируется изменением подаваемого на обмотку нагревателя напряжения.

Третий способ. Последовательно с нагревателем паяльника включается добавочный резистор (реостат). При этом мощность резистора должна быть такой же, как и у паяльника, а номинал сопротивления подбирается для получения нужной температуры. Такой добавочный резистор имеет большие габариты и нагревается, что крайне неудобно.

Вместо добавочного гасящего резистора можно использовать неполярный конденсатор (например, серии МБМ). Он обладает

емкостным сопротивлением на частоте 50 Гц: $X_c = 1/314\ C$ (если емкость в фарадах, то сопротивление получаем в омах). Чем больше номинал емкости, тем меньше ее сопротивление.

Четвертый способ. В простейшем регуляторе мощности предполагается разместить в подставке диод VD1 и кнопочный выключатель SA1 (рис. 1.35). В нижнем по схеме положении подвижного контакта переключателя сетевое напряжение с вилки X1, включаемой в розетку осветительной сети, подается на паяльник, вилку которого подключают в гнезда розетки X2. Этот режим используется во время работы. Если паяльник кладут на подставку, то под действием его веса выключатель размыкает свои контакты, а в цепь питания паяльника включается диод, пропускающий только положительные полупериоды синусоидального сетевого напряжения. Среднее напряжение на паяльнике падает, нагрев его жала снижается.

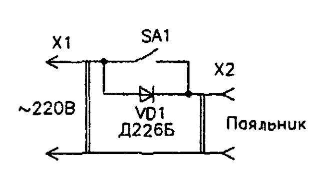


Рис. 1.35. Электрическая схема простого регулятора мощности паяльника

Другой, более сложный регулятор позволяет плавно изменять напряжение на паяльнике примерно от 150 до 210 В (рис. 1.36).

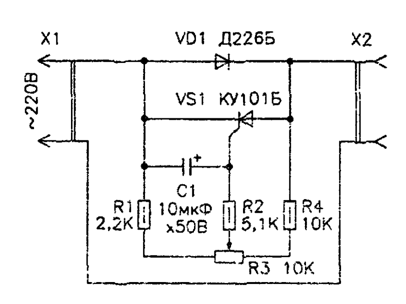


Рис. 1.36. Электрическая схема регулятора мощности паяльника

В нем помимо диода, выполняющего ту же роль, что и в предыдущем устройстве, использован каскад на тиристоре VS1, включенном параллельно диоду и шунтирующий его при отрицательных полупериодах напряжения на аноде диода.

Продолжительность включения тиристора, а значит, шунтирования диода, может изменяться переменным резистором R3. В этом и заключается смысл регулирования напряжения на паяльнике. Подбором резисторов R1 и R4 смещают пределы регулирования напряжения в ту или иную сторону: резистором R1 устанавливают минимальное напряжение, R4 – максимальное.

Вместо диода Д226Б подойдет любой другой выпрямительный диод, рассчитанный на ток не менее 300 мА и обратное напряжение более 300 В, а вместо тиристора КУ101Б – КУ101Г – КУ101Е. Эти параметры указаны для паяльника малой мощности (до 30 Вт). Для более мощного необходимо установить соответствующий диод, например Д245А, и тиристор КУ201Д – КУ201Л.

Электронный регулятор (рис. 1.37) позволяет плавно менять (переменным резистором R2) температуру нагревателя в широких пределах. Устройство имеет бестрансформаторное питание и малые габариты, что позволяет поместить его в подставке под паяльник. Схема некритична к типам деталей, и ее настройка заключается в подборе номинала резистора R4 (при нулевом значении R2) для получения максимального напряжения на нагревателе. Подключаемый паяльник может иметь мощность от 15 до 300 Вт, а при замене диодов VD1–VD4 на больший ток – до 1000 Вт.

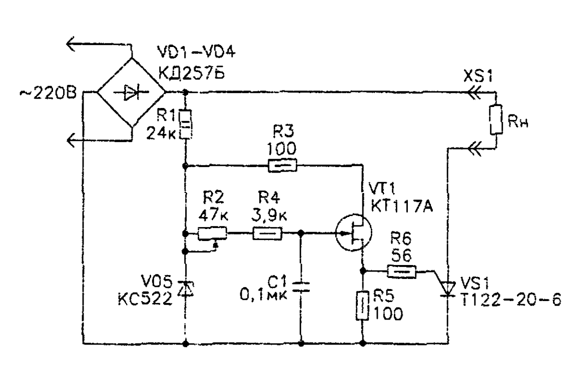


Рис. 1.37. Электрическая схема регулятора температуры

Если паяльник рассчитан на более низкое номинальное напряжение питания (48 или 36 В), потребуется снижающий напряжение трансформатор, а на схему электронного регулятора

может подаваться пониженное напряжение. В этом случае для сохранения ее работоспособности потребуется пропорционально входному напряжению уменьшить номинал резистора R1.

Для регулирования температуры паяльника напряжением 36 В можно использовать регулятор, схема которого показана на рис. 1.38. Напряжение сети понижается трансформатором T1 и выпрямляется мостовым выпрямителем VD1. Пульсации сглаживаются конденсатором C1. На четырех логических элементах микросхемы DD1 собран генератор импульсов с регулируемой скважностью; частота импульсов составляет примерно 100 Гц. Составной транзистор VT1VT2 усиливает импульсы генератора по напряжению и току. Регулируя скважность импульсов, изменяют среднее значение тока через паяльник и, соответственно, температуру его жала.

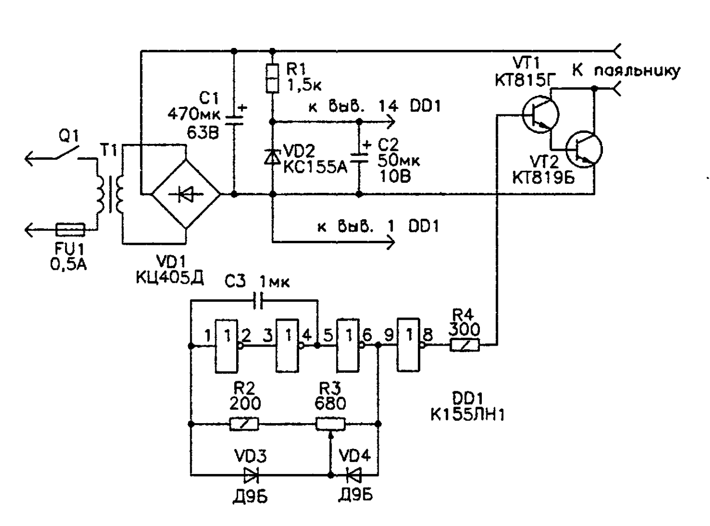


Рис. 1.38. Электрическая схема регулятора мощности паяльника 36 В

В качестве микросхемы DD1 можно использовать также К155ЛА3, К155ЛЕ1 и их аналоги из серий К133, К158, КР1531, К555. Транзистор VT1 типа КТ608 (А, Б), КТ3117 (А), VT2 – КТ819 (Б, В), КТ817 (Б–Г). Конденсатор C1 типа К50-29, C2 – К50-16, C3 – КМ-6. Трансформатор T1 имеет магнитопровод ШЛ20×20. Обмотка I содержит 2000 витков провода ПЭВ-2-0,31, обмотка II – 365 витков провода ПЭВ-2-0,67.

Достоинством данного регулятора перед аналогичным тринисторным является возможность регулирования мощности паяльника при питании его от источника постоянного напряжения (например, от аккумуляторов в полевых условиях). В этом случае отпадает надобность в трансформаторе T1 и выпрямителе VD1.

Пятый способ. Позволяет автоматически поддерживать заданную температуру паяльника с точностью 1 °С и используется для монтажа радиоэлементов, очень критичных к перегреву. В этом случае необходимо приобрести специальный паяльник с уже установленной внутри термопарой. Электрическую схему такого регулятора можно найти в литературе.

1.3.3. Сменное жало паяльника

Как известно, *жало паяльника* достаточно быстро обгорает. Его остаток приходится выбрасывать или вообще перестать пользоваться паяльником, если нет сменного стержня. «Продлить» жизнь паяльника позволит нехитрая доработка (рис. 1.39). Если паяльник прослужил длительное время и его стержень значительно укоротился, на конце жала затачивают выступ и прикрепляют заклепками медный наконечник. Когда он обгорит, его снимают, спилив заклепки, и устанавливают новый.

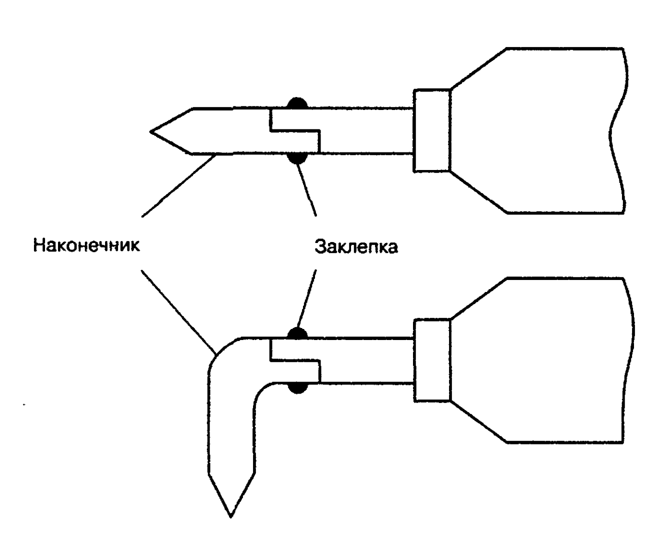


Рис. 1.39. Сменное жало паяльника

1.3.4. Латунный стержень

Радиолюбителям известно, что медное жало паяльника нуждается в периодической формовке, так как оно довольно быстро выгорает – на нем образуются раковины из-за растворения меди в припое. Но не все знают, что *латунный* стержень также отлично облуживается и «держит» припой не хуже медного. Кроме того, он совершенно не покрывается окалиной. Стойкость к образованию раковин у латунного жала также намного выше.

Хорошие результаты позволяет получить и использование стержней из бронзы. Однако необходимо иметь в виду, что не все марки бронзы облуживаются. Из латуни и бронзы удобно изготавливать сложные по форме насадки, предназначенные для одновременной пайки выводов микросхем или демонтажа с платы многовыводных компонентов и др.

1.3.5. Миниатюрное жало паяльника

В условиях плотного печатного монтажа паять выводы микросхем и других радиоэлементов бывает нелегко. Обычный стержень паяльника в таких условиях не обеспечивает необходимого удобства и качества пайки. Более эффективно использование стержня, изготовленного из иглы от насоса, который применяется для накачивания футбольных или волейбольных мячей. Ее можно приобрести в магазине спортивных товаров.

Процесс превращения иглы в *миниатюрное* жало паяльника занимает не более двух минут. Сначала кусачками нужно отделить ненужные левую и правую части иглы, как показано на рис. 1.40. Затем один конец трубки зачистить и облудить,

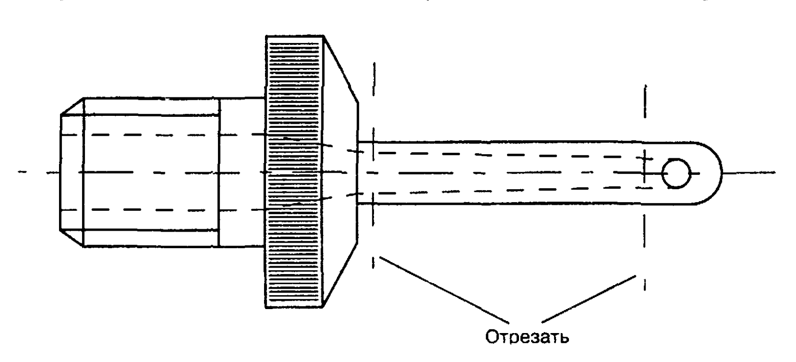


Рис. 1.40. Жало паяльника из иглы от насоса

а другой (его вставляют в нагреватель паяльника) расплющить плоскогубцами. Такой стержень лучше всего подходит для паяльника ЭПСН-25. В этой модели он просто прижимается винтом.

Из канала нагревателя такое жало следует выпускать примерно на 20 мм. Пользоваться им очень легко. Жало с каплей припоя надевают на торчащий из отверстия платы конец вывода (поскольку стержень полый) и немного поворачивают вокруг оси. Распайка одного вывода длится около секунды, качество после приобретения определенного навыка отличное. Пайка получается аккуратной, а расход припоя – минимальным.

1.3.6. Комплект паяльных стержней

Обычно заводские электропаяльники комплектуют прямым, а иногда еще и угловым жалом. Номенклатура же современной элементной базы столь широка, а разновидностей конструкции выводов так много, что использовать при монтаже паяльник со стандартным жалом очень неудобно, а при демонтаже – порой просто невозможно. Радиолюбителю приходится искать новые варианты паяльных стержней, чтобы облегчить эту кропотливую работу.

На рис. 1.41 показаны стержни для паяльника ЭПСН (мощностью 40 Вт), которые можно изготовить в дополнение к уже имеющимся.

Варианты на рис. 1.41(а,в) не требуют особых пояснений. Первый стержень предназначен для пайки крупных деталей, второй – для мелких. Оба можно выточить на токарном станке из медной или латунной заготовки.

Третий стержень (рис. 1.41д) удобен для облуживания проволочных выводов деталей, так как в его жале просверлен осевой канал диаметром 2,2 мм и глубиной 20 мм. Канал облуживают и заполняют припоем. Такой стержень особенно хорош для пайки выводов на монтажных точках печатной платы – в канале может содержаться запас припоя на более чем десяток точек. Жало стержня нужно обточить, если потребуется работать на плате с плотным монтажом.

Данный стержень будет удобен также для удаления излишков припоя при демонтаже деталей. Благодаря наличию радиального отверстия диаметром 2,2 мм канал легко заполняется припоем на всю глубину. Его освобождают, стряхивая припой

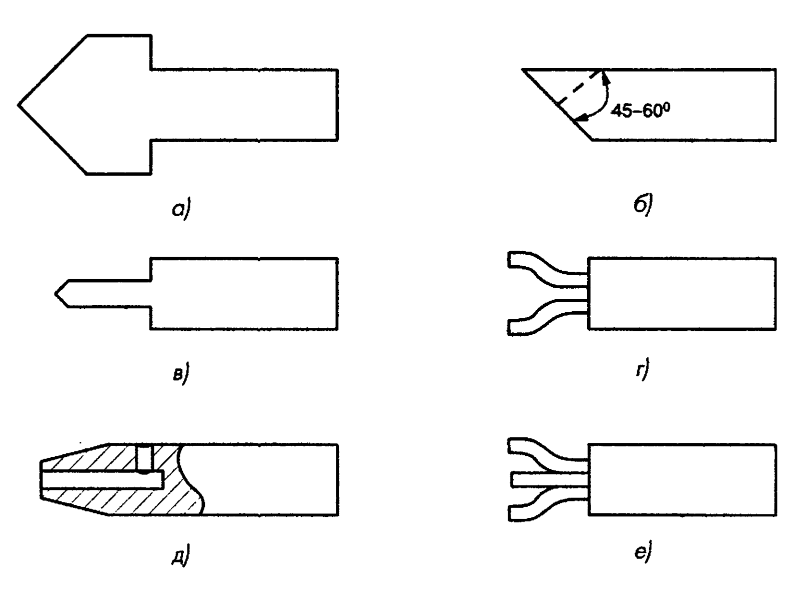


Рис. 1.41. Стержни для паяльника

в ванночку. Собранные остатки можно использовать повторно. Стряхивать нужно очень осторожно, чтобы случайно не обжечься каплями припоя.

Радиолюбители знают, что при работе с двусторонними печатными платами пайка выводов микросхем со стороны деталей требует особой осторожности. Бывает, что одного неверного движения жалом паяльника достаточно, чтобы испортить и микросхему, и плату. Кроме того, при обычной форме жала трудно добиться равномерного распределения припоя. Для подобной работы потребуется специальное жало (его можно изготовить из обычного). При помощи напильника, ножовки и надфиля ему придают форму, показанную на рис. 1.41б.

При пайке вывод микросхемы должен находиться в прорези жала – это предотвращает его соскальзывание. Припой будет равномерно обтекать вывод, не затрагивая соседние. Таким жалом удобно облуживать выводы радиодеталей, только прорезь нужно сделать немного шире.

Стержни, представленные на рис. 1.41(г,е), предназначены для пайки при монтаже и демонтаже одновременно двух и трех

выводов соответственно. Если вам приходилось выпаивать из платы миниатюрный оксидный конденсатор типа К50-6, стабилитрон КС170А, транзистор серий КТ315 или КТ373, подстроечный резистор, то вы знаете, какой это трудоемкий процесс. Использование изображенных на рис. 1.41(г,е) стержней во многом упрощает подобную работу.

Для изготовления «многожальных» паяльных стержней лучше всего использовать пайку тугоплавким припоем в пламени ацетиленовой горелки. Можно, однако, выполнить их и в домашних условиях. В торце заготовки хвостовика из меди, латуни или стали сверлят отверстия на глубину 5–7 мм. Их диаметр подбирают в соответствии с имеющейся медной проволокой (диаметром примерно 1,5–1,7 мм). Отрезки проволоки длиной около 15 мм осторожно забивают в отверстия и закрепляют.

Разумеется, в этом разделе рассмотрены далеко не все полезные конструкции. У каждого радиолюбителя есть свои приспособления, может быть, более удобные для выполнения какой-либо конкретной работы.

1.3.7. Терморезак

Мощный паяльник можно легко превратить в резак, если на его жале закрепить металлический «нож» (рис. 1.42).

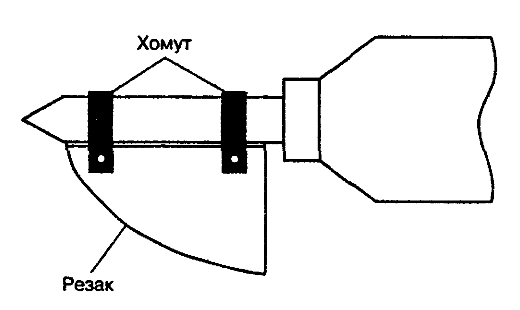


Рис. 1.42. Терморезак из паяльника

Для изготовления резака нужна стальная пластина толщиной 1–1,5 мм и два хомутика для крепления. Рабочая грань резака затачивается. Теперь паяльник может резать как пенопласт, так и некоторые виды пластика.

1.4. ПОЛЕЗНЫЕ САМОДЕЛКИ

1.4.1. Пробники для проверки электрических цепей

В ремонтной и любительской практике широко применяются различные пробники для прозвонки электрических цепей, поиска провода в жгуте или кабеле (см. рис. 1.7). Электрические схемы простейших пробников показаны на рис. 1.43. Следует соблюдать особую осторожность при работе с пробником, использующим переменное напряжение 220 В. На рис. 1.44 представлена схема подключения простейшего логического пробника для проверки цифровых схем. Его легко можно встроить в корпус шариковой авторучки или фломастера.

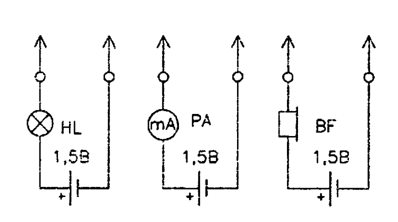


Рис. 1.43. Электрические схемы пробников для прозвонки цепей

Рис. 1.44. Электрическая схема простейшего логического пробника

1.4.2. Браслет для снятия статического заряда

При работе с транзисторами и микросхемами МОП структуры рекомендуется соблюдать меры предосторожности от повреждения приборов статическим электричеством. При установке данных деталей необходимо соединять жало паяльника с «землей», а монтажник должен надевать на руку специальный *антистатический браслет*. Обычно это ремешок от часов, на котором укреплена пластина, плотно прижатая к руке и соединенная гибким проводником с шиной заземления через резистор сопротивлением 1 МОм.

Чтобы браслет не стеснял движений во время работы, при его изготовлении можно использовать пластину, выполненную из полоски жести: обогнуть ее вокруг ремешка, а на конце гибкого соединительного проводника укрепить небольшой магнит.

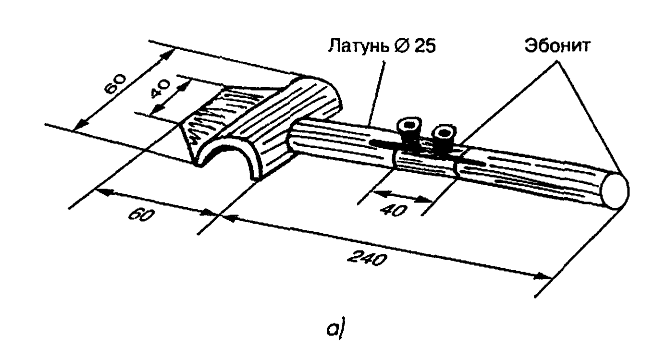
Вполне подойдет магнит от датчиков охранной сигнализации, микродвигателей постоянного тока или от мебельной дверной защелки. Поверхность магнита, контактирующую с пластиной браслета, желательно отшлифовать. Если магнит установить на пластину браслета, надетого на руку монтажника, заряд с его тела «стечет» на «землю». Заземление паяльника обеспечивают перестановкой магнита на его корпус. Удобнее, разумеется, иметь два браслета.

Простой, удобный и эффективно действующий браслет в виде эластичной манжеты можно изготовить из кухонной сетки-мочалки, сплетенной из упругой тонкой проволоки – лучше омедненной. Такая мочалка продается в хозяйственных магазинах. Снаружи к сетке припаивают отрезок гибкого изолированного провода с зажимом «крокодил». Практика показывает, что данный браслет хорошо отводит статическое электричество, не мешает работе, легко снимается и надевается.

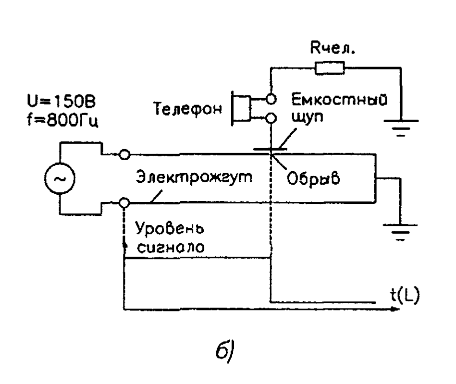
1.4.3. Приборы для определения места обрыва и пути прохождения провода

Существующие в настоящее время способы определения места обрыва сложны, так как требуют использования дорогостоящей аппаратуры (применяются, как правило, электрические мосты) и сложных вычислений. Поэтому кабели с оборванными жилами обычно не ремонтируют, а заменяют новыми, что неэкономично. Чтобы определить путь прохождения провода в жгуте, приходится прозванивать всю цепь с последующим снятием вязки, а это приводит к значительной потере времени и снижению качества последующего монтажа. Предлагаемые приборы, позволяющие сэкономить массу времени и средств, предназначены для определения места обрыва провода в электрожгуте (кабеле), а также пути его прохождения без нарушения изоляции.

Первый прибор прост по конструкции и позволяет с высокой точностью (в пределах 1–2 см) без нарушения изоляции провода определять место обрыва в электрожгуте. Он включает генератор, вырабатывающий напряжение синусоидальной формы, и приемное устройство (рис. 1.45), состоящее из емкостного щупа (емкостного искателя).



а)



б)

Рис. 1.45. Внешний вид емкостного щупа (а) и принцип работы прибора (б)

Испытываемый на обрыв провод присоединяется к переходной клемме генератора. При включении прибора вокруг провода образуется слабое электромагнитное поле переменной частоты. Его мощность достаточна, чтобы при проведении емкостным щупом вдоль провода в телефонах прибора прослушивался легкий свистящий звук (фон). За местом обрыва электромагнитное поле будет отсутствовать, а следовательно, не будет и звукового эффекта в телефонах. На том участке кабеля, где пропадает звуковой фон, и находится место обрыва токопроводящей жилы. Аналогично производится поиск пути прохождения провода в жгуте.

В качестве генератора можно использовать любой источник гармонического колебания частотой 800 Гц. Максимальное напряжение, снимаемое с его выхода, не должно превышать 150 В.

Второй прибор более сложен. Он позволяет значительно сократить время на устранение неисправностей в системах электрорадиоэлектронного оборудования. Прибор состоит из генератора, вырабатывающего синусоидальное напряжение частотой 800 Гц, и приемного устройства цилиндрической формы (рис. 1.46).

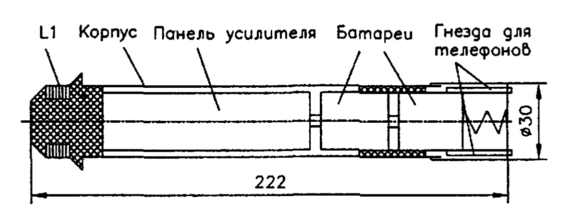


Рис. 1.46. Приемное устройство прибора

При подключении искомого провода к переходной клемме генератора вокруг провода образуется слабое электромагнитное поле соответствующей частоты. Если теперь приблизить к проводу приемный контур, то в телефонах будет прослушиваться звук. Диаметр приемного контура равен 15 мм. Следовательно, точность определения по максимуму сигнала соответствует половине диаметра, то есть 7,5 мм, и во многих случаях вполне достаточна.

Приемное устройство представляет собой усилитель, работающий на четырех транзисторах типа МП39 (рис. 1.47). Коэффициент усиления составляет 12 000 (на частоте 1 кГц). Приемный контур L1 представляет собой провод ПЭЛ-0,1, в 200 витков намотанный на вставку из эбонита. С помощью конденсатора С2 он настраивается в резонанс с частотой генератора.

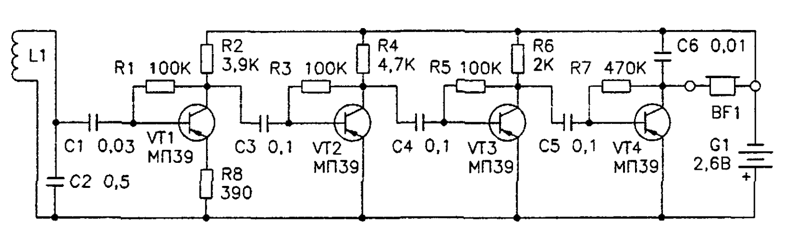


Рис. 1.47. Электрическая схема приемного устройства

Когда вилку шнура головных телефонов вставляют в соответствующие гнезда, включается усилитель. Питание приемника

осуществляется от двух элементов типа R6 (AA). Масса приемного устройства не превышает 200 г. Правильно собранный усилитель работает без налаживания. При сильном шуме в телефонах следует заменить транзистор первого каскада усиления.

1.4.4. Приспособление для удаления изоляции

Монтажные провода в пластмассовой изоляции радиолюбители обычно зачищают с помощью ножа или бокорезов. При этом, как правило, повреждается и металлическая жила провода. Кроме того, шелковую оплетку, если она есть, удалить таким способом весьма трудно. Предлагаемое несложное устройство позволяет быстро и качественно удалять изоляцию с концов монтажных проводов типа МГШВ, МГТФ и др. При этом металлические жилы проводов не повреждаются.

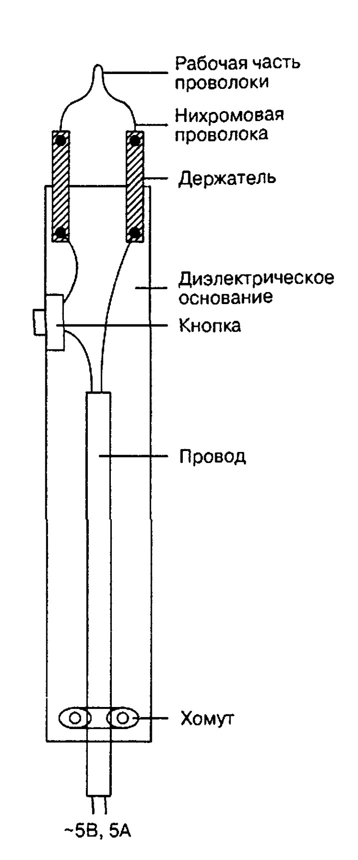


Рис. 1.48. Приспособление для удаления изоляции

Приспособление для удаления изоляции с монтажных проводов (рис. 1.48) представляет собой нихромовую проволоку, закрепленную винтами на двух держателях, которые укреплены на диэлектрической пластине толщиной 6–10 мм. Здесь же установлена кнопка. Токоподводящие провода закреплены жестяным хомутиком.

Для питания приспособления используется трансформатор, вторичная обмотка которого рассчитана на напряжение 4–5 В при токе 4–5 А. Можно применять трансформатор ТВК-110Л-1, удалив с него все вторичные обмотки и

намотав новую, содержащую 45 витков провода ПЭВ-1-1,2. Первичная обмотка трансформатора во время выполнения работ все время включена в сеть, а нихромовую проволоку (ее диаметр составляет 0,7–0,9 мм) с помощью кнопки кратковременно подключают к вторичной обмотке трансформатора.

Приспособление держат в правой руке, на 2–3 с нажимают кнопку и, вставив конец провода внутрь рабочей части нихромовой проволоки, поворачивают провод на 1–1,5 оборота. После этого изоляция легко снимается с помощью пинцета.

1.4.5. Универсальный источник питания

При ремонте, наладке и испытании различной аппаратуры необходим источник питания, рассчитанный на плавную или ступенчатую регулировку выходного напряжения постоянного и переменного тока. Он должен обеспечивать индикацию выходного напряжения и потребляемого тока, а также автоматическое отключение при перегрузке. Начинающий радиолюбитель может подобрать нужное устройство (см. рис. 1.9) в любом специализированном магазине. Опытный радиомонтажник часто сам изготавливает блок питания с теми параметрами, которые ему необходимы, подобрав нужную схему из многочисленных книг, справочников и журналов по радиоэлектронике.

При выборе или разработке источника питания (ИП) необходимо учитывать ряд факторов, определяемых условиями эксплуатации, свойствами нагрузки, требованиями к безопасности и т.д. В первую очередь, конечно, следует обратить внимание на соответствие электрических параметров ИП требованиям питаемого устройства, а именно: напряжение питания, потребляемый ток, требуемый уровень стабилизации напряжения питания, допустимый уровень пульсации напряжения питания. Немаловажны и характеристики ИП, влияющие на его эксплуатационные качества: наличие систем защиты и массогабаритные размеры.

Являясь неотъемлемой частью радиоэлектронной аппаратуры, средства вторичного электропитания должны жестко соответствовать установленным требованиям, которые определяются как требованиями к самой аппаратуре в целом, так и условиями, предъявляемыми к источникам питания и их работе в составе данной аппаратуры. Любой из параметров ИП,

выходящий за границы допустимых требований, вносит диссонанс в работу устройства. Поэтому, прежде чем начинать сборку ИП к предполагаемой конструкции, внимательно проанализируйте все имеющиеся варианты и выберите такой вид, который будет максимально соответствовать всем требованиям и вашим возможностям.

Существует четыре основных типа сетевых источников питания:

- бестрансформаторные, с гасящим резистором или конденсатором;
- линейные, выполненные по классической схеме: понижающий трансформатор – выпрямитель – фильтр – стабилизатор;
- вторичные импульсные: понижающий трансформатор – фильтр – высокочастотный преобразователь 20–400 кГц;
- импульсные высоковольтные высокочастотные: фильтр – выпрямитель ~220 В – импульсный высокочастотный преобразователь 20–400 кГц.

Линейные источники питания отличаются предельной простотой и надежностью, а также отсутствием высокочастотных помех. Доступность комплектующих и простота изготовления делает их наиболее привлекательными для повторения начинающими радиолюбителями. Кроме того, в некоторых случаях немаловажен и экономический расчет – применение линейных ИП однозначно оправдано в устройствах, потребляющих до 500 мА, которые требуют малогабаритных ИП. К таким устройствам можно отнести, например, зарядные устройства для аккумуляторов, блоки питания радиоприемников, систем сигнализации и т.д.

Необходимо отметить, что некоторые конструкции, не требующие гальванической развязки с промышленной сетью, можно питать через гасящий конденсатор или резистор, при этом потребляемый ток может достигать сотен мА.

Эффективность и рациональность применения линейных ИП значительно снижается при токах потребления более 1 А. Причинами этого являются следующие факторы:

- колебания сетевого напряжения сказываются на коэффициенте стабилизации;

- на входе стабилизатора приходится устанавливать напряжение, которое будет заведомо выше минимально допустимого при любых колебаниях напряжения в сети, а это значит, что, когда эти колебания высоки, необходимо устанавливать завышенное напряжение, что в свою очередь влияет на проходной транзистор (неоправданно большое падение напряжения на переходе, и как следствие – высокое тепловыделение);
- большой потребляемый ток требует применения габаритных радиаторов на выпрямляющих диодах и регулирующем транзисторе, ухудшает тепловой режим и габаритные размеры устройства в целом.

Достаточно просты в изготовлении и эксплуатации вторичные импульсные преобразователи напряжения. Их отличает простота изготовления и низкая стоимость комплектующих. Экономически и технологически оправдано конструировать ИП по схеме вторичного импульсного преобразователя для устройств с током потребления 1–5 А, для бесперебойных ИП к системам видеонаблюдения и охраны, для усилителей низкой частоты, радиостанций и зарядных устройств.

Лучшая отличительная черта вторичных преобразователей перед линейными – массогабаритные характеристики выпрямителя, фильтра, преобразователя, а также стабилизатора. Однако их отличает большой уровень помех, поэтому при конструировании необходимо особо уделить внимание экранированию и подавлению высокочастотных составляющих в шине питания.

В последнее время получили достаточно широкое распространение импульсные ИП, построенные на основе высокочастотного преобразователя с бестрансформаторным входом. Эти устройства, питаясь от промышленной сети, не содержат в своем составе громоздких низкочастотных силовых трансформаторов, а преобразование напряжения осуществляется на высокой частоте (20–400 кГц). Такие источники питания обладают на порядок лучшими массогабаритными показателями по сравнению с линейными, а их КПД может достигать 90% и более. ИП с импульсным высокочастотным преобразователем существенно улучшают многие характеристики устройств, питаемых от этих источников, и могут применяться практически в любых радиолюбительских конструкциях, однако их отличает

достаточно высокий уровень сложности и помех в шине питания, низкая надежность, высокая себестоимость, недоступность некоторых компонентов. Таким образом, необходимо иметь очень веские основания для применения импульсных ИП на основе высокочастотного преобразователя в любительской аппаратуре (в промышленных устройствах это в большинстве случаев оправдано). Такими основаниями могут служить вероятность колебаний входного напряжения в пределах ~100–300 В, возможность создавать ИП с мощностью от десятков ватт до сотен киловатт на любые выходные напряжения, появление доступных высокотехнологичных решений на основе ИС и других современных компонентов.

В любом радиоэлектронном устройстве имеется источник вторичного электропитания. Обычно он занимает до 30% всего объема радиоаппаратуры, и от его качества и надежности во многом зависят параметры всего устройства. При создании новых устройств не всегда имеется возможность применять унифицированные блоки питания. Специализированный источник питания под конкретное устройство получается, как правило, проще и дешевле. Схемы ИП широко представлены в литературе по радиоэлектронике.

1.5. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И НАЛАДКЕ УСТРОЙСТВ

1.5.1. Правила техники безопасности при работе с электричеством

Радиолюбителям, занимающимся конструированием различных электронных устройств, постоянно приходится иметь дело с электричеством. Неосторожное обращение с током в процессе изготовления, наладки и эксплуатации устройств может привести к печальным последствиям. Основы безопасности при работе с электрическим током должен знать каждый. Жизнь – слишком ценный подарок, чтобы терять ее из-за невнимательности или неаккуратности!

Безопасным для человека считается напряжение, не превышающее 50 В. Разумеется, речь идет о нормальных условиях – сухое помещение, чистая и сухая кожа. Поскольку при питании устройств от гальванических элементов и батарей значения

напряжений ниже, следует соблюдать безопасность при работе с устройствами, имеющими сетевое питание. Доказано, что ток около 10 мА уже вызывает легкое раздражение нервной системы и даже судороги. При увеличении его до 30 мА мышцы могут утратить способность сокращаться, а при токе более 50 мА наступает паралич дыхательных органов, что представляет опасность для здоровья и жизни. Смертельным считается ток около 100 мА. Поэтому в целях безопасности необходимо помнить и выполнять следующие основные правила:

- значение тока, протекающего через тело человека, зависит от сопротивления. У всех людей это сопротивление различно. Оно снижается, если руки или одежда влажные. Другими словами, руки должны быть чистыми и сухими. Кроме того, величина тока, проходящего через человека, зависит не только от состояния кожи, но и от площади соприкосновения с токоведущими частями (грязь и влага ее увеличивают). Это необходимо учитывать, прежде чем приступать к работе. Не следует иметь дело с электрическим током в болезненном или утомленном состоянии – реакция человека снижается, и вероятность несчастного случая увеличивается;
- нельзя работать (например, проводить настройку) во включенном блоке сразу двумя руками или одной рукой при этом касаться токопроводящей поверхности (металлического корпуса устройства), так как степень поражения электрическим током зависит от пути его прохождения. Наиболее опасным является путь тока от руки к руке – через область сердца и легких, а также от левой руки к ноге. Не следует также держаться рукой за трубу отопления или водопровода. Недаром опытные монтажники, проверяя установки с опасным для жизни напряжением, стараются держать свободной левую руку, а то и вовсе убрать ее в карман, работая только правой рукой. Под ноги на рабочем месте желательно подкладывать резиновый коврик, являющийся изолятором;
- ремонт с заменой деталей необходимо выполнять при отключении питания устройства от сети 220 В. Для подстраховки лучше вытащить сетевую вилку из розетки (выключатель может сломаться в самый неожиданный момент).

Жало паяльника следует заземлять – это обеспечит безопасность работы при нарушении изоляции паяльника и появлении на корпусе фазного напряжения (в этом случае сработают предохранители или автоматический выключатель, и сеть будет обесточена). Предохранители электросети (плавкие вставки или электромеханические «пробки») должны быть исправными;

- если необходимо измерить напряжение на элементах, то один щуп вольтметра следует подключить к требуемой точке при обесточенном устройстве (например, с помощью лабораторного зажима типа «крокодил»). После включения устройства в сеть вторым щупом прикасаются к выводу элемента. При этом не стоит пользоваться щупом, имеющим неизолированную часть (спицу) значительной длины – из соображений безопасности лучше надеть на нее отрезок изоляционной трубки, оставив неизолированным конец длиной 2–3 мм. Измерения желательно выполнять одной рукой;
- некоторые радиолюбители проверяют наличие напряжения на зажимах с помощью языка. Так делать ни в коем случае нельзя, даже если известно, что напряжение не превышает 5–7 В. Говорят, что незаряженное ружье один раз в год стреляет; так и на этих зажимах может оказаться значительное напряжение;
- в большинстве случаев радиолюбители собирают приборы на транзисторах и микросхемах, питание которых осуществляется безопасным напряжением. Как правило, такие устройства питаются от сети через понижающий трансформатор. В этом случае опасное напряжение имеется на выводах первичной обмотки трансформатора, выключателе питания и патроне предохранителя (применение их обязательно). Монтаж этой части прибора, связанной с сетью, следует выполнять особенно тщательно – все соединения нужно изолировать ПВХ трубкой, лакотканью пли изоляционной лентой;
- если в устройстве нет трансформатора, то все элементы имеют гальваническую связь с сетью. При настройке и эксплуатации такого устройства следует соблюдать особую осторожность. В процессе налаживания питание желательно

осуществлять через разделительный трансформатор, у которого первичная и вторичная обмотки рассчитаны на напряжение сети. Плату и элементы устройства необходимо тщательно изолировать от корпуса, а сам корпус лучше выполнить из непроводящего материала. Изнутри корпус желательно выложить асбестовыми пластинами. Ручки переменных резисторов, колпачки переключателей, другие элементы управления следует изготавливать из изоляционного материала;

- прежде чем включать прибор в сеть, необходимо подсоединить омметр к выводам сетевой вилки и убедиться в отсутствии короткого замыкания. Желательно измерить сопротивление изоляции между выводами сетевой вилки и корпусом прибора. Если оно менее 10 МОм при какой-нибудь (проверьте обе!) полярности подключения щупов омметра, нужно отыскать неисправность и устранить ее. Такие проверки необходимо периодически повторять и в дальнейшем. Если с электронными устройствами работает начинающий радиолюбитель, желательно, чтобы в этом помещении находился второй человек, который в случае необходимости может отключить напряжение и оказать помощь. Если вы все же по неосторожности попали под напряжение или стали свидетелем такого случая, то надо как можно скорее освободиться от контакта с токоведущим проводником, любым способом разомкнув цепь. Последствия поражения зависят от времени нахождения человека под напряжением. Особая внимательность нужна при настройке схем, не имеющих электрической развязки от сети 220 В (то есть без понижающих напряжение трансформаторов). В этом случае подключение измерительных приборов лучше выполнять при отключенной схеме;
- после выключения питания высоковольтные конденсаторы в устройстве могут некоторое время сохранять заряд, который вы получите при случайном касании цепей. Для исключения этой возможности их необходимо разрядить (вообще при проектировании устройства надо предусматривать разрядку таких конденсаторов после отключения напряжения питания). Разрядку высоковольтных конденсаторов

производят закорачиванием выводов через резистор сопротивлением 100 Ом (использование короткозамыкающей перемычки может их повредить). Это правило особенно хорошо запоминается, после того как разряд высоковольтного конденсатора почувствуешь на себе;

- при первоначальном включении устройства следует соблюдать осторожность, так как диоды и электролитические конденсаторы при неправильном включении полярности или превышении режимов могут взорваться. При этом конденсаторы взрываются не сразу, а сначала некоторое время греются;
- не рекомендуется оставлять без присмотра включенные и еще не настроенные устройства – это может вызвать пожар. При настройке приборов, включенных в сеть, пользуйтесь отверткой с изолированной ручкой;
- в обычных условиях безопасным для человека является источник тока с напряжением до 50 В, поэтому для монтажа элементов лучше использовать паяльник с рабочим напряжением, не превышающим это значение;
- при работе с паяльником нельзя стряхивать с жала остатки расплавленного припоя – его брызги могут попасть в глаза или на тело и привести к ожогам. Осторожность необходима и при вытаскивании выводов элементов при демонтаже. Паяльник должен находиться на подставке, которая исключает случайное прикасание горячих частей к рукам, а также к рабочей поверхности;
- при длительной работе с паяльником воздух в комнате насыщается вредными для организма парами свинца и олова. Поэтому помещение необходимо регулярно проветривать.

Таковы основные правила техники безопасности при работе с электроустановками. Их необходимо соблюдать каждому радиолюбителю. В рамках данного раздела невозможно рассказать о всех опасностях, поэтому будьте внимательны и осторожны при работе с электричеством.

1.5.2. Правила безопасного пользования ручными инструментами

А теперь об инструментах. Неправильное обращение с ними тоже может стать источником всевозможных травм. Поэтому

необходимо всегда помнить о правилах безопасности и соблюдать их.

Например, режущий инструмент должен быть всегда остро заточен, поскольку при работе тупым инструментом придется прикладывать большее усилие, и он скорее соскользнет и поранит руки. Но это не значит, что острый инструмент безопасен – при работе с ним также нужно соблюдать осторожность. Не кладите режущие инструменты лезвием к себе или на самый край стола.

Используя отвертку, помните, что ее наконечник должен соответствовать по размерам шлицу винта. Конец лезвия должен быть тупым. Передавая отвертку (шило, стамеску и т.д.) друг другу, держите ее острым концом к себе.

Не строгайте ничего на весу, а тем более располагая нож по направлению к себе. При спиливании металла следите за тем, чтобы пальцы левой руки не заходили за нижний край напильника. Не проверяйте пальцем качество опиливаемой поверхности. Металлическую стружку собирайте со стола не руками, а волосяной щеткой-сметкой.

При рубке металла обязательно надевайте защитные очки. Пользоваться зубилом, длина которого менее 150 мм, запрещается. Гаечные ключи подбирайте по размерам гаек. Удлинение ключей с помощью труб и других предметов недопустимо.

Разрезаемый металл надежно закрепляйте в тисках. Полотно ножовки должно быть затянуто не слабо, но и не слишком туго. Слабо натянутое полотно может сломаться, а туго натянутое – лопнуть. В обоих случаях вы можете пораниться обломками.

Разрезая ручными ножницами тонкий листовой материал, держите его левой рукой в брезентовой рукавице – это предохранит ее от ранений острыми кромками металла и лезвиями ножниц. Не пользуйтесь тупыми ножницами и ножницами с разболтанными шарнирами.

Ручки инструментов должны быть изготовлены из твердых пород дерева (береза, бук, вяз, кизил). Из дерева хвойных пород и сырого материала делать ручки не рекомендуется. Не допускайте трещин на ручках напильников, молотков и т.п. Для предохранения рук от мозолей деревянные ручки инструментов следует обжечь на огне до получения коричневого цвета.

При выполнении слесарных работ следите, чтобы молоток был прочно насажен на ручку и заклинен металлическим клином. Зубило, молоток, бородок, кернер не должны иметь трещин, сколов и наклепа. Поверхность ударной части молотка не должна быть скошена.

Выполняя работу, не разговаривайте и не отвлекайтесь на посторонние дела. Необходимо всегда иметь под рукой медицинскую аптечку на тот случай, если вы все же нарушите правила и случайно поранитесь.

2.1. ПАЙКА – ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО

Для соединения металлических деталей обычно применяется пайка, основанная на диффузии. Во время нее происходит взаимное растворение (диффузия) припоя и основного металла. После застывания получается механически прочное соединение, обладающее хорошей электропроводностью.

Различают пайку тугоплавкими (твердыми) и легкоплавкими (мягкими) *припоями*. При электромонтажных работах (сборка радиоаппаратуры) используют только легкоплавкие припои с относительно низкой температурой плавления (до 300 °С).

Пайке препятствуют пленки оксидов, жира и грязи на поверхности металлов. Для их удаления соединяемые поверхности тщательно зачищают. Кроме того, чтобы избежать окисления соединяемых деталей под действием тепла и кислорода во время самой пайки, применяют вспомогательное вещество – флюс.

2.1.1. Припои для электромонтажных работ

Припоем называют металлический сплав, которым соединяют проводники и выводы деталей. Самый хороший припой – чистое олово. Однако оно стоит дорого и используется только в исключительных случаях. При радиомонтаже чаще применяют легкоплавкий припой, представляющий собой сплав олова и свинца. По прочности пайки он не уступает чистому олову. Буквы в обозначении марки припоя указывают следующее: П – припой, О – оловянный, С – свинцовый. Цифры обозначают массовое содержание в припое олова (в процентах). Например, в припое ПОС-18 содержится 18% олова (остальная часть – свинец).

Для получения особых свойств в состав оловянно-свинцовых припоев вводят кадмий, висмут, сурьму и другие металлы. Например, ПОСК-50 – оловянно-свинцовый припой с добавлением кадмия (50% олова, 18% кадмия, остальное – свинец).

Рекомендуется применять припой ПОС-61 (температура плавления +190 °С) или, в крайнем случае, ПОС-40 (температура плавления +235 °С). Область применения различных видов припоев указана в табл. 2.1.

Легкоплавкие припои выпускаются в виде чушек. литых прутков, проволоки, лент фольги, зерен, заполненных канифолью,

Таблица 2.1. Легкоплавкие припои

Марка припоя	Температура плавления, °С	Область применения
ПОС-90	220	Пайка пищевой посуды и медицинских инструментов
ПОС-61 ПОС-61М	190	Пайка тонких спиральных пружин в измерительных приборах и других важных деталей из стали, меди, латуни, бронзы, когда недопустим или нежелателен высокий нагрев в зоне пайки. Пайка тонких (диаметром 0,05–0,08 мм) обмоточных проводов, в том числе высокочастотных (литцендрата), выводов обмоток радиоэлементов и микросхем, монтажных проводов в полихлорвиниловой изоляции, а также пайка в тех случаях, когда требуется повышенная механическая прочность и электропроводность
ПОС-50	222	Область применения та же, когда допускается высокая температура нагрева
ПОС-40	235	Пайка деталей из оцинкованной стали, толстых проводов токопроводящих деталей неответственного назначения, наконечников, соединений проводов с лепестками, когда допускается более высокий нагрев, чем для ПОС-61 или ПОС-50
ПОС-30	256	Лужение и пайка механических деталей неответственного назначения из меди и ее сплавов, стали и железа
ПОС-18	277	Пайка при невысоких требованиях к прочности шва, лужение перед пайкой. Пайка деталей неответственного назначения из меди и ее сплавов, оцинкованного железа и стали
ПОС-10	299	Лужение и пайка контактных поверхностей электроаппаратуры
ПОСВ-33	130	Пайка плавких предохранителей
ПОСК-47-17	180	Пайка проводов и выводов элементов к слою серебра, нанесенного на керамику методом вжигания
ПОСК-50-18	145	Пайка деталей из меди и ее сплавов, не допускающих местного перегрева. Пайка полупроводниковых приборов. Обладает высокой прочностью на растяжение
ПОССр-15	276	Пайка деталей из цинка и оцинкованной стали
Авиа-1	200	Пайка тонкостенных деталей из алюминия и его сплавов
Авиа-2	250	
Сплав Розе	97,3	Пайка и лужение, когда требуется особо низкая температура припоя
Сплав д'Арсе	79	
Сплав Вуда	60,5	

Примечание к табл. Сплав Розе состоит из олова – 25%, свинца – 25%, висмута – 50%.

а также в виде порошков и паст, составленных из порошка припоя и жидкого флюса.

Хороших результатов можно достичь при использовании специального трубчатого припоя, начиненного флюсом. Трубки

выпускаются *диаметром* от 0,25 до 3,2 мм. *Наибольшей* популярностью пользуются трубчатые припои ПОС-61 с содержанием флюса 1%. В большинстве случаев они не требуют удаления остатков флюса после пайки. Для пайки поверхностей с плохой паяемостью можно использовать трубчатый припой с активным водосмываемым флюсом HYDRO-X (состав припоя: олово – 95,5%, серебро – 3,8%, медь – 0,7%).

Паяльные пасты пользуются заслуженным уважением благодаря высокому качеству и уникальным техническим характеристикам. Они могут применяться для трафаретной печати, имеют слабый запах, отличные клеящие свойства по удержанию компонентов до пайки и незначительное количество остатков после ее выполнения. Выпускаются такие пасты в банках по 0,5 кг и в шприцах по 25 г для дозированного нанесения.

2.1.2. Флюсы для пайки

Кроме припоя вам потребуется хороший *флюс* – вещество, которое защищает поверхность металла и припоя от окисления, поскольку во время пайки температура соединяемых деталей повышается, и скорость окисления их поверхности значительно возрастает. Вследствие этого припой не смачивает соединяемые детали. Для растворения и удаления оксидов применяют флюсы. Они надежно защищают поверхность металла и припоя от окисления и способствуют диффузии металлической поверхности и расплавленного припоя.

По действию, оказываемому на подвергающийся пайке металл, флюсы разделяют на *химически активные* (в большинстве своем кислотные) и *химически пассивные* (на основе канифоли). При монтаже электро- и радиоаппаратуры применение *кислотных флюсов* (табл. 2.2) не допускается, так как с течением времени их остатки разрушают место пайки и изделие выходит из строя.

К *бескислотным флюсам* (табл. 2.3) относятся канифоль и составы, приготовленные на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, скипидара, глицерина). Остаток канифоли не гигроскопичен и не вызывает коррозии паяного соединения.

Самым простым флюсом является канифоль. В магазинах встречается смычковая канифоль, которой натирают смычки музыкальных инструментов. Она вполне пригодна для пайки.

Таблица 2.2. Активные (кислотные) флюсы

Название и состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Кислота паяльная: хлористый цинк – 25–30; соляная кислота – 0,6–0,7; вода	Пайка деталей из черных и цветных металлов	Тщательная промывка в воде
Флюс-паста водная: хлористый цинк (насыщенный раствор) – 3,7; вазелин технический – 85; дистиллированная вода	Область применения та же, когда по роду работы удобнее пользоваться пастой	Тщательная промывка в воде
Флюс спиртоканифольный: канифоль – 16–24; хлористый цинк – 1; спирт этиловый	Пайка цветных и драгоценных металлов (в том числе золота), важных деталей из черных металлов	Промывка в ацетоне или спирте
Флюс-паста канифольная: канифоль – 16; хлористый цинк – 1–4; вазелин технический	Область применения та же, для получения соединений высокой прочности, но только деталей простой конфигурации, не затрудняющей промывку	Промывка в ацетоне или спирте
Флюс спиртоглицериновый: хлористый цинк – 14; глицерин – 3; спирт этиловый – 40; вода дистиллированная	Пайка никеля, платины и сплавов, в которые входит платина	Тщательная промывка в воде
ФИМ	Пайка нержавеющей стали, никеля, меди и их сплавов	Промывка в ацетоне или спирте
Ф61	Пайка алюминия и его сплавов, меди и сплавов, никеля оловянным припоем	Промывка в ацетоне или спирте
Ф38Н	Пайка нихрома, константина, люминиевой и берилиевой бронз, нержавеющей стали	Промывка в ацетоне или спирте

Но можно воспользоваться «природной» канифолью, совершив прогулку в сосновый лес. Наберите смолы, растопите ее в жестяной банке на слабом огне, чтобы избежать воспламенения. Расплавленную массу разлейте в спичечные коробки или другие подходящие емкости. После застывания смола-канифоль готова к употреблению.

Канифольный флюс дешев и доступен, но не всегда удобен в применении. Поэтому в радиолюбительской практике все большую популярность приобретает жидкая канифоль, которая очень хорошо зарекомендовала себя при пайке в труднодоступных местах. Ее можно изготовить самостоятельно. Твердую канифоль измельчают в порошок, высыпают его в емкость, например, с глицерином, помешивая раствор палочкой и добавляя

Таблица 2.3. Бескислотные флюсы

Состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Канифоль светлая сосновая	Пайка и лужение латуни, меди, бронзы мягкими и легкоплавкими припоями	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс спиртоканифольный: канифоль – 15–30; спирт этиловый	Область применения та же, а также пайка в труднодоступных местах	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс стеариновый: канифоль – 24; стеарин – 1; спирт этиловый	Область применения та же	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс глицериновый: канифоль – 6–9; глицерин – 14–50; спирт этиловый	Область применения та же, при повышенных требованиях к герметичности паяного соединения	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Флюс вазелиновый: канифоль – 6–9; вазелиновая мазь – 14–50; спирт этиловый	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Паста канифольно-вазелиновая: порошок канифоли; вазелиновая мазь	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Флюс бензиноканифольный: канифоль – 40; бензин Б-70 – 60	Пайка и лужение латуни и меди	Протирка кистью или тампоном, смоченным в бензине
Бура техническая	Пайка и сварка сплавов высокого сопротивления	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне

канифоль до получения густой кашицы. Хранить такую канифоль необходимо в пузырьке с плотно закрывающейся крышкой, а наносить на спаиваемые места тонкой палочкой или проволокой. При отсутствии глицерина можно использовать этиловый или борный спирт.

Применение спиртоканифольного флюса позволяет получить высокое качество пайки, кроме того, она выглядит аккуратнее. Однако флюс быстро засыхает на кисточке, и по окончании работы ее приходится отмывать в спирте. Намного удобнее наносить флюс одноразовым шприцем объемом 2 или 5 см^3. В него надо набрать немного жидкого флюса, а остальной объем заполнить воздухом. Слегка сжимая шприц пальцами, выдавливают каплю флюса на место пайки. Для удобства работы иглу шприца следует затупить.

Чтобы флюс не засыхал в канале иглы, после пайки в шприц надо набрать немного воздуха, держа его иглой вверх. В таком

же положении и хранят шприц с флюсом. Если флюс все-таки засох, достаточно коснуться кончиком иглы разогретого паяльника – игла сразу же очистится.

Совет. *После пайки отмойте печатную плату спиртом и покройте спиртоканифольным флюсом – плата приобретет хороший внешний вид, а ее проводники будут защищены от окисления.*

Следует отметить, что глицериновый и спиртовой флюсы электропроводны. Вазелиновый флюс не имеет этого недостатка и, кроме того, не требует дорогих растворителей, а также длительное время не высыхает в открытой посуде. Во многих случаях очень удобно использовать канифольно-вазелиновую пасту. Для ее приготовления твердую канифоль надо растолочь и просеять через мелкое сито (подходит сито для муки). Далее канифольный порошок перемешивают с любым косметическим вазелином, предварительно убедившись в его изоляционных свойствах. Пригодны для этой цели и некоторые кремы, например «Детский». Основу берут в количестве, необходимом для получения пасты с консистенцией густой сметаны.

Остатки флюса после пайки легко удаляются лоскутом мягкой ткани, а плата промывается спиртом, бензином или ацетоном. Хороших результатов можно достичь, используя специальные промывочные жидкости (например, немецкой фирмы ZESTRON). Они обладают высокой растворяющей способностью любых типов загрязнений, возникающих на поверхности печатных узлов в процессе проверки и сборки.

2.1.3. Начало пайки

Качество пайки во многом определяет нормальную и надежную работу аппаратуры. Со стороны кажется, что очень просто сразу взяться за паяльник и, вооружившись нужным количеством припоя и флюса, приступить к работе. Однако эта простота достигается выполнением некоторых требований. Для получения прочного паяного соединения необходимо, чтобы место пайки было тщательно очищено от грязи, жиров, продуктов коррозии и оксидных пленок. Поэтому сначала поверхности соединяемых деталей целесообразно зачистить (например, шлифовальной шкуркой, металлической щеткой и т.п.) и облудить.

Прочная и красивая пайка получается не сразу, а только после практического овладения секретами радиомонтажа.

Для начала следует правильно выбрать припой и флюс (см. выше). От этого в первую очередь зависит качество и надежность пайки.

Далее нужно подобрать подходящий паяльник. При монтаже радиоаппаратуры используют *электрические паяльники*, выбирая их в зависимости от предполагаемого применения по мощности и температуре нагрева рабочей части. Например, при пайке соединений на печатной плате наиболее удобен небольшой паяльник с тонким жалом, а для лужения толстых медных проводов лучше взять мощный паяльник.

Перед началом пайки новый паяльник нужно подготовить: придать необходимую форму рабочей части его жала и облудить ее. Для этого конец жала рекомендуется вначале отковать, а затем обработать напильником или наждачной бумагой. Наклеп замедляет растворение меди в припое и образование раковин на жале, которые препятствуют стеканию припоя в место пайки, ухудшают тепловой контакт с ним и, следовательно, увеличивают время пайки.

Жало *паяльника* на конце должно быть всегда облужено. Если оно покрыто окалиной, работать трудно – припой будет плавиться, но к поверхности жала не пристанет. Перед облуживанием паяльник разогревают и очищают рабочую поверхность жала канифолью. Перегрев инструмента перед чисткой канифолью недопустим. Покрывать жало слоем канифоли нужно сразу же, как только оно нагреется до температуры плавления канифоли. Если же паяльник перегрелся и зачищенная часть покрылась слоем оксида меди, то его необходимо остудить и опять обработать напильником. Затем следует растереть жало, покрытое слоем расплавленного припоя, о подставку паяльника (если она деревянная) или о поверхность небольшой дощечки, пока на нем не появится пленка припоя. Отличных результатов можно достичь, используя специальную пасту (например, ТТС-1) для быстрой и эффективной очистки и лужения насадок паяльников.

Совет. *Если жало покрывается окалиной слишком быстро, значит, паяльник перегрелся. Снизить температуру жала можно, выдвинув его немного из корпуса паяльника или уменьшив напряжение на паяльнике регулятором мощности.*

Прежде чем припаивать вывод детали, его нужно *облудить*. Делать это следует непосредственно перед самой пайкой. Вывод зачищают монтажным ножом, кладут на кусочек канифоли (или смачивают жидкой канифолью), прикладывают паяльник и покрывают слоем канифоли. Затем большую часть вывода (но не ближе 10 мм от корпуса детали) опускают в расплавленный кусочек припоя и, поворачивая деталь, облуживают.

Чтобы спаять выводы двух подготовленных таким образом деталей, их плотно прижимают друг к другу. Жалом паяльника берут капельку припоя, опускают жало в канифоль (либо заранее наносят на место пайки жидкую канифоль) и тут же прикладывают его к выводам. Прогрев место пайки, нужно равномерно распределить по нему припой. Чтобы пайка выглядела изящной, количество припоя должно быть минимальным. Продолжительность этой операции должна составлять 3–5 с. Затем паяльник убирают. Отметим, что до полного застывания припоя (примерно 5–8 с) детали нельзя шевелить, так как это может повредить пайку, и она будет некачественной. Остатки канифоли в месте пайки удаляют спиртом, бензином или ацетоном.

Чаще всего приходится припаивать выводы деталей и концы соединительных проводников к медным заклепкам или монтажным шпилькам, установленным на плате, токопроводящим дорожкам печатной платы, различным металлическим лепесткам. На рисунках показаны примеры *пайки*.

Припаивая, например, проводник к пустотелой заклепке (рис. 2.1а), его конец пропускают в отверстие заклепки, отгибают, удаляют излишек провода кусачками, а затем пропаивают провод с заклепкой так, чтобы припой полностью заполнил отверстие заклепки. Так же припаивают скрученные концы двух проводников (рис. 2.1б) или выводы двух деталей (рис. 2.1в).

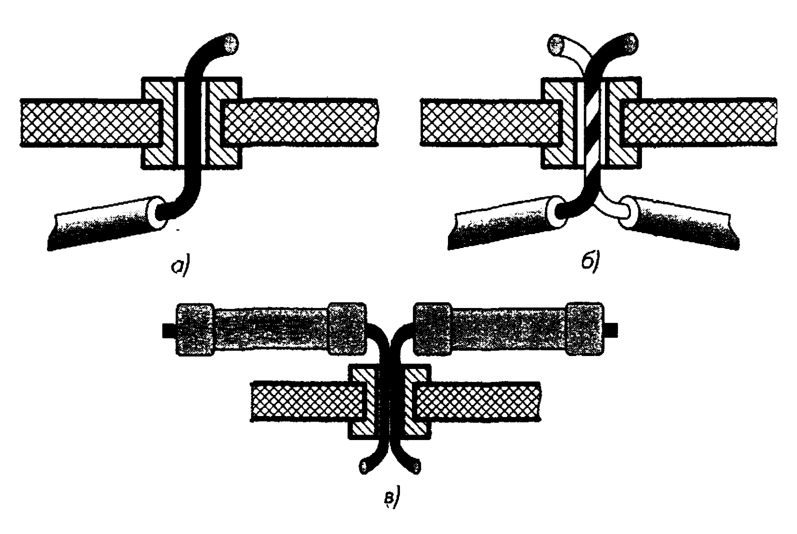


Рис. 2.1. Припаивание к пустотелой заклепке одного проводника (а), двух скрученных проводников (б) и выводов двух деталей (в)

Бывает, что на плате установлены монтажные шпильки из толстого медного провода, тогда конец вывода детали загибают вокруг шпильки колечком (рис. 2.2а), а затем припаивают к ней. Если к той же шпильке припаивают второй вывод или соединительный проводник, его конец также изгибают колечком. При пайке вывода детали в отверстии печатной платы край детали должен выступать над соединительной дорожкой из фольги на 2–3 мм (рис. 2.2б). Лишнюю часть вывода можно удалить и после пайки. Сам вывод желательно предварительно изогнуть с помощью круглогубцев (рис. 2.2в).

Обратите внимание, что губки круглогубцев необходимо располагать ближе к корпусу детали, а вывод сгибать с противоположной стороны. Выполнение этого требования предотвратит обрыв вывода детали в точке крепления к корпусу.

Если при монтаже нужно срастить два проводника, совсем необязательно скручивать их концы. Проще сложить их на длине 6–8 мм (рис. 2.3а) и спаять. Когда же надо соединить проводники под прямым углом, конец одного их них можно согнуть, прижать к другому проводнику и спаять (рис. 2.3б). При соединении нескольких деталей или проводников с общим проводом места пайки следует располагать на некотором

расстоянии друг от друга (рис. 2.3в), чтобы при замене какой-либо детали в дальнейшем не страдали пайки остальных.

а) б) в)

Рис. 2.2. Пайка деталей на печатную плату

а) б) в)

Рис. 2.3. Сращивание (а) и соединение (б) двух проводников, пайка нескольких деталей в одной точке (в)

Чтобы не перегреть деталь во время пайки вывода, следует пользоваться *теплоотводом*, роль которого могут выполнять пинцет, круглогубцы или плоскогубцы, которыми удерживают вывод детали.

Если требуется паять детали на миниатюрной плате в условиях плотного монтажа, а под рукой нет паяльника с тонким жалом, то из медной проволоки диаметром 2–3 мм можно самостоятельно изготовить простое приспособление – удлинитель жала паяльника (рис. 2.4), конец которого зачищают и облуживают так же, как и жало паяльника.

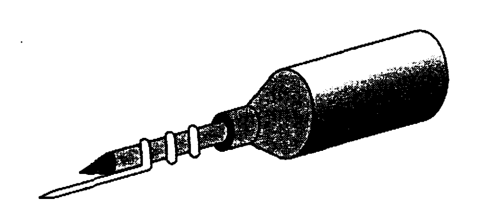


Рис. 2.4. Удлинитель жала паяльника

И в заключение необходимо напомнить о мерах безопасности. При пайке выделяются вредные для здоровья пары олова и свинца. Ни в коем случае не наклоняйтесь над местом работы и не вдыхайте испарения. Летом старайтесь паять у открытого окна, зимой чаще проветривайте помещение. После окончания работ обязательно вымойте руки теплой водой с мылом. В идеальном случае желательно иметь местную вытяжку или дымоуловитель.

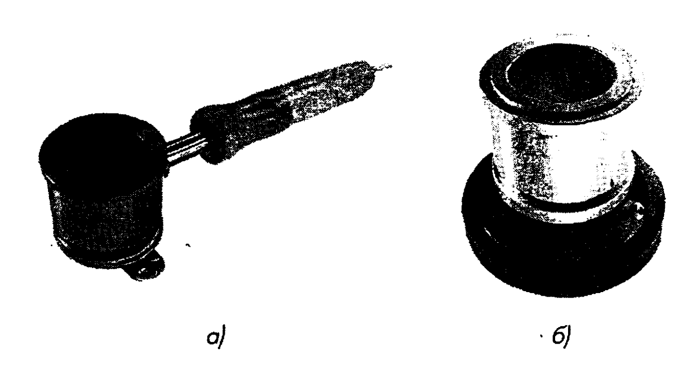
При пайке соединений на печатных платах и выводах транзисторов температура жала паяльника не должна превышать 260 °С. Ее удобно регулировать, изменяя напряжение питания с помощью автотрансформатора или других регулирующих устройств.

Еще раз следует напомнить, что надежность соединения в месте пайки зависит не столько от количества нанесенного припоя, сколько от качества предварительного облужения и прогрева деталей. Если припоя для пайки требуется немного, то его переносят залуженным концом паяльника. Хорошо прогрев место спая (добившись растекания припоя), отнимают паяльник. Остывая, припой скрепляет детали. При нормальном прогреве место спая получается светлым и блестящим.

При работе недостаточно нагретым паяльником припой на соединяемых поверхностях быстро остывает и превращается в кашеобразную массу. Место спая матовое, шероховатое. В результате пайка получается непрочной, и через какое-то время соединение нарушится. Такую пайку называют *«холодной»*.

2.1.4. Лудильная ванна

Выводы микросхем, транзисторов и других деталей удобно лудить, погружая их в расплавленный припой. Для этого используется специальная *лудильная ванна* (рис. 2.5).



а) б)

Рис. 2.5. Лудильная ванна

Однако изготовить ее несложно и самому. На широкой массивной подставке из теплоизолирующего материала, лучше всего из асбестоцемента, монтируется узел нагревателя с ванной. Он представляет собой дюралюминиевую пластину размером 55×40×3 мм (значения могут быть и другими), на которую наложена сверху такая же пластина, но имеющая в середине окно 40×20 мм. В нем уложен нагреватель из нихромового провода диаметром 0,6 мм и длиной 50–60 см. Провод навивают на стержень-оправку диаметром 1 мм. Спираль обматывают стеклотканью. Выводы изолируют, пропускают через отверстие в нижней пластине нагревателя и подключают к гибкому шнуру.

Сверху нагреватель прикрывают дюралюминиевой пластиной с такими же внешними размерами, на которой тем или иным способом укреплена тонкостенная ванна, изготовленная,

например, из кожуха реле РЭС22. Глубина ванны должна быть около 4 мм. Все три пластины сжимаются в пакет гайками, навинченными на резьбовые стойки. Нагреватель питают от понижающего трансформатора с регулируемым напряжением. Потребляемая мощность составляет около 50 Вт.

Устройство включают, температуру доводят до плавления припоя. Припой в ванну добавляют до тех пор, пока его уровень не станет несколько выше ее края. Выводы облуживают, погружая их в припой на короткое время. Это устройство очень удобно и при демонтаже многовыводных деталей. Плату печатной стороной опускают на ванну, чтобы выводы деталей погрузились в припой. Через несколько секунд деталь беспрепятственно отделяют от платы. При некотором навыке можно таким же образом припаивать к плате детали.

Совет. *Облудить эмалированный провод очень легко. На лист мелкой наждачной бумаги надо нанести 2–3 капли канифоли. Жалом хорошо прогретого паяльника набрать немного припоя и, прижав жалом конец провода к наждачной бумаге с канифолью, вытянуть провод. Поворачивая провод каждый раз, операцию повторяют до тех пор, пока его конец не будет освобожден от изоляции и равномерно облужен.*

2.2. НЕПАЯНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.2.1. Соединение жил проводов

В радиолюбительской практике приходится соединять проводники не только пайкой. Медные одно- и многопроволочные провода сечением до 10 мм^2 соединяют скруткой с последующей пропайкой места соединения припоями ПОС-30 или ПОС-40 и канифолью в качестве флюса. Применять кислоту или нашатырь при пайке нельзя. Места соединения скруткой должны быть длиной не менее 10–15 наружных диаметров соединяемых жил.

Оконцевание проводов под винтовой зажим осуществляют в виде кольца (рис. 2.6а,б), а под плоский зажим – в виде стержня (рис. 2.6в). При сечении провода до 4 мм^2 включительно

оконцевание в виде кольца выполняют следующим образом. С конца провода снимают изоляцию на длине, достаточной для выполнения кольца. Жилу жесткого провода закручивают в кольцо по часовой стрелке, а гибкого провода – в стержень. Затем кольцо и стержень облуживают. Для соединения гибкого провода под винтовой зажим его облуженный стержень закручивают в кольцо.

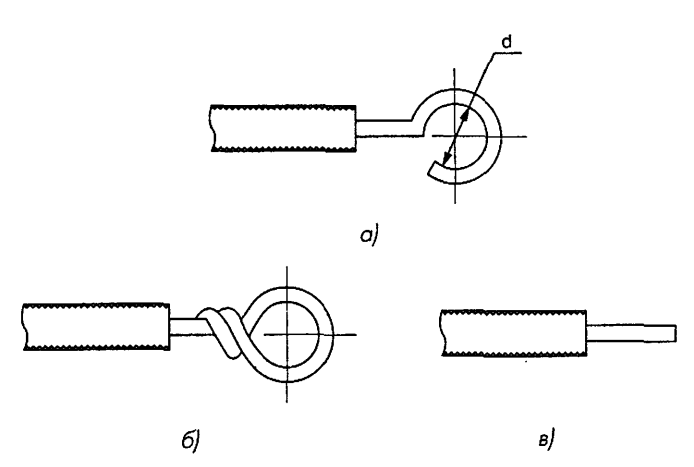


Рис. 2.6. Оконцевание жесткого (а) и гибкого (б) проводов под винтовой и плоский (в) зажимы

Присоединение к одному контактному зажиму более двух проводов запрещается. Зажимы должны соответствовать величине номинального напряжения и тока. Зажимные винты рассчитаны на присоединение проводов следующих сечений: в зажимах до 10 А – двух проводов сечением до 4 мм^2; в зажимах до 25 А – двух проводов сечением до 6 мм^2.

Присоединение проводов к приборам, имеющим контактные лепестки, производят пайкой. Спаянные монтажные соединения должны обеспечивать надежность электрического контакта и необходимую механическую прочность. Основным материалом для пайки является припой ПОС-40, а для ответственной аппаратуры – ПОС-61. Припой рекомендуется применять в виде трубок с канифольным наполнением или проволоки диаметром 1–3 мм. Флюсом служит раствор канифоли в спирте, а также сосновая канифоль высшего или первого сорта.

Плохо выполненное соединение может привести к тому, что ток, проходящий через него, вызовет искрение в ненадежных зажимах и, как следствие, перегорание проводников. Детали слабого зажима нагреваются и окисляются, что еще больше увеличивает сопротивление и нагрев.

Нагрев присоединительных зажимов аппарата может быть и из-за того, что применены провода меньшего сечения, чем нужно, которые, нагреваясь, увеличивают температуру на самом зажиме. Причина может быть также в неправильно или небрежно выполненном зажиме. Нагрев концов проводов может быть также в месте контакта провода с наконечником и при нормальной величине тока. В таком случае опрессовка наконечника не помогает, и наконечник нужно отрезать от провода и вставить другой, а если его нет, то временно провод можно присоединять без наконечника, согнув кольцом, что будет надежнее, чем с нагревающимся наконечником.

Увеличение сопротивления в зажимах заземляющих проводников ведет не только к повышению напряжения прикосновения, но и к опасности возгорания из-за нагрева зажима и его искрения. Следует учитывать возможность перегрева аппаратов и от нагрева рабочих контактов и мест их крепления из-за повышения сопротивления в месте касания контактов при неплотном касании контактов и, как следствие, от их окисления. От нагрева может быть перегорание и замыкание не только токоведущих частей, но частичное или полное сгорание пластмассовых деталей и корпусов аппаратов, что может привести к пожару.

2.2.2. Соединение сплавов высокого сопротивления

Для соединения проводов из сплавов высокого сопротивления (нихром, константан, никелин, манганин и др.) есть несколько простейших способов *сварки* без применения специальных инструментов.

Концы свариваемых проводов зачищают, скручивают и пропускают через них ток такой силы, чтобы место соединения накалилось докрасна. На это место пинцетом кладут кусочек ляписа (нитрат серебра), который расплавляется и сваривает концы проводов.

Если диаметр свариваемой проволоки из сплава высокого сопротивления не превышает 0,15–0,2 мм, то на ее концы наматывают тонкую медную проволоку (диаметром 0,1–0,15 мм), причем с реостатной проволоки изоляцию можно не удалять. Затем соединенную таким образом проволоку накаляют на пламени горелки. Медь при этом начинает плавиться и прочно соединяет оба реостатных провода. Оставшиеся концы медной проволоки отрезают, а место сварки изолируют, если нужно. Этот способ можно применять и для соединения медных проводов с проводами из сплавов высокого сопротивления.

Перегоревший провод обмотки реостата или нагревательного прибора можно восстановить следующим образом: концы провода в месте обрыва вытягивают на 15–20 мм и зачищают до блеска. Затем из листовой стали или алюминия вырезают небольшую пластинку, делают из нее муфту и надевают на провода в месте соединения, предварительно скрепив их обычной скруткой. Затем муфту плотно сжимают плоскогубцами. Соединение проводов с помощью муфты обеспечивает достаточно высокую механическую прочность, но контакт в месте соединения не всегда надежен, что может привести к местному перегреву провода и его перегоранию.

Соединение сплавов высокого сопротивления часто требуется при изготовлении *термопар*, которые применяются для измерения температуры жала электропаяльника, расплавленного припоя в ванне для лужения проводников, нагрева электрических машин и т.п. Для этого в железный тигель с металлической подставкой насыпают угольный порошок – измельченные электроды от сварки или гальванических элементов. Один конец электрического провода от автотрансформатора соединяют с тиглем, другой подключают к скрученной термопаре, которую захватывают плоскогубцами с изолированными ручками, и подают от автотрансформатора напряжение порядка 60–80 В (рис. 2.7а). Скрученные проволочки (например, хромель–копель) опускают в угольный порошок, в который добавлено немного флюса (бура), в результате чего возникает небольшая электрическая дуга, и концы термопары свариваются, образуя шарик на концах проволочек.

При другом способе сварки (рис. 2.7б) вместо порошка применяется угольный электрод. Напряжение 12 В с понижающего

трансформатора подводят к ручке плоскогубцев и угольному электроду. При прикосновении последнего к скрутке концы проволочек оплавляются, образуя на конце шарик.

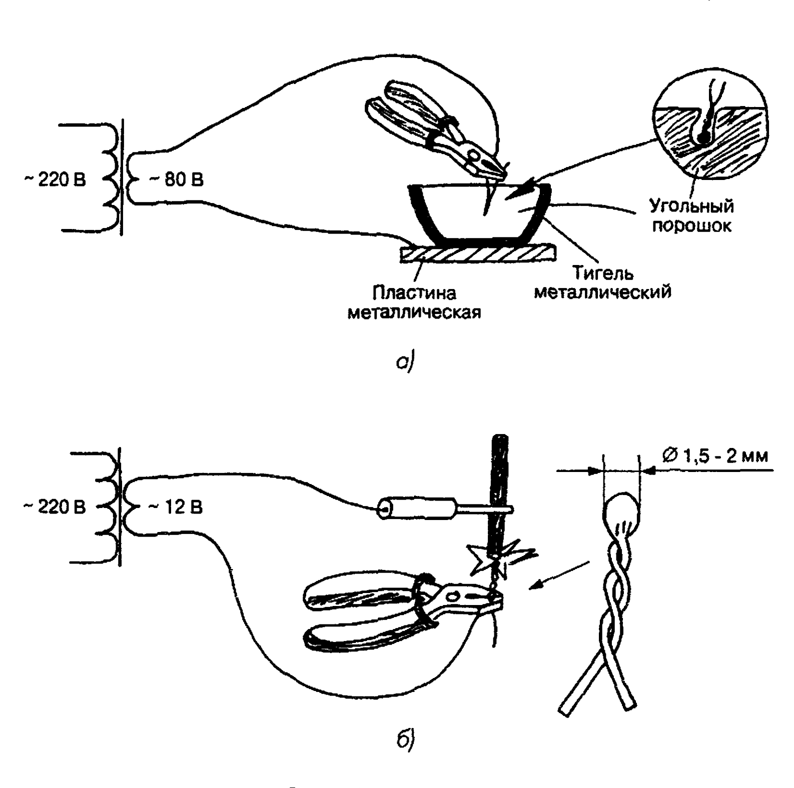


Рис. 2.7. Способы изготовления термопар

Такой способ пригоден для соединения хромоаллюминиевых, медноконстантановых и платинородиевых термопар, спиралей нагревательных элементов и проводов обмоток трансформаторов и электродвигателей.

2.2.3. Электросварка деталей

Иногда требуется гальванически соединить какие-либо детали без нагревания. Например, чтобы собрать батарею из дисковых

аккумуляторов, необходимо снабдить их соединительными выводами-перемычками. В подобных случаях можно применить *«точечную» электросварку*.

Для этого необходимо собрать маломощное сварочное устройство, состоящее из соединенных параллельно пяти дросселей от арматуры люминесцентных осветительных ламп мощностью 40 Вт. К одному выводу этой батареи дросселей подключен изолированный проводник с зажимом «крокодил» на конце, а к другому – такой же проводник, второй конец которого соединен с одним из штырей сетевой вилки. Все соединения проводников должны быть надежно изолированы. Ко второму штырю сетевой вилки прикреплен проводник, свободный конец которого очищен от изоляции на длину 20–25 мм. Проводники должны быть как можно более короткими, с сечением по меди не менее 0,75 мм^2.

Для работы понадобится также плавкая перемычка – отрезок длиной 50–100 мм неизолированного медного провода (можно луженого) диаметром около 0,3 мм. Перемычка при выполнении каждого сварочного соединения перегорает, и ее нужно заменять. Работать следует крайне осторожно, пользуясь защитными очками и хлопчатобумажными перчатками.

Сварка производится следующим образом. Деталь, к которой надо присоединить вывод, надежно фиксируют в зажиме, укладывают на пластину из негорючего изоляционного материала (например, асбеста) и прижимают массивным предметом. Один конец проволочной перемычки плотно наматывают (7–10 витков) на оголенный участок сетевого проводника, а второй – на привариваемый к детали вывод, которым может служить отрезок медного провода диаметром 0,5–0,6 мм.

Соблюдая все меры электробезопасности, вилку устройства включают в сеть и, используя плоскогубцы с изолированной ручкой, касаются выводом к детали. Перемычка мгновенно сгорает, а вывод приваривается к детали. Если в вашей квартире около электросчетчика установлены плавкие предохранители («пробки»), то они могут перегореть. Поэтому их лучше заменить автоматическими. Работа будет более безопасной, если на сгораемую перемычку надеть тонкую ПВХ трубку.

2.3. ПАЙКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

В настоящее время в электробытовой технике широко используется алюминий (например, алюминиевые электрические провода в трансформаторах-стабилизаторах напряжения и т.п.). Поскольку данный металл и его сплавы, соприкасаясь с воздухом, быстро окисляются, обычные методы пайки не дают желаемых результатов. Ниже описываются различные способы *пайки алюминия* оловянно-свинцовыми припоями ПОС-61, ПОС-50, ПОС-90.

Для спаивания двух алюминиевых проводов их предварительно *залуживают*. Для этого конец провода покрывают канифолью, кладут на шлифовальную шкурку (со средним зерном) и горячим залуженным паяльником прижимают к шлифовальной шкурке, при этом паяльник от провода не отнимают и на залуженный конец все время добавляют канифоль. Чтобы хорошо залудить провод, все операции приходится повторять много раз. Затем пайка идет обычным порядком.

Совет. *Лучшие результаты получаются, если вместо канифоли применяется минеральное масло для швейных машин или щелочное масло (например, для чистки оружия после стрельбы).*

При пайке листового алюминия или его сплавов на шов горячим паяльником наносят канифоль с мелкими железными опилками. Паяльник залуживается, и им начинают протирать место шва, постоянно добавляя припой. Опилки своими острыми гранями снимают с поверхности оксид, и олово прочно пристает к алюминию. Работают хорошо нагретым паяльником: для пайки тонкого алюминия достаточна мощность 50 Вт; для алюминия толщиной 1 мм и более желательна мощность 90 Вт; если толщина превышает 2 мм, место пайки необходимо прогреть паяльником и только после этого наносить флюс и приступать к работе. В качестве флюса можно использовать минеральное масло.

При соединении алюминиевых проводов и поверхностей иногда применяют достаточно оригинальный способ пайки. Перед началом работы алюминиевый провод или пластину *омедняют*, используя установку для гальванического покрытия. Но можно сделать проще. Место пайки зачищают шлифовальной шкуркой и аккуратно наносят на него несколько капель

насыщенного раствора медного купороса. Далее к алюминиевой детали подключают отрицательный полюс источника постоянного тока (например, выпрямитель, батарейку от карманного фонаря или аккумулятор). А к положительному полюсу присоединяют кусок медного провода 1–1,2 мм (без изоляции), являющегося частью изготовленного из старой зубной щетки «устройства» (рис. 2.8). Находящийся в щетине провод не должен касаться поверхности алюминия во время трения щетки (омеднения) о поверхность детали. Через некоторое время на поверхности алюминиевой детали оседает слой красной меди, который после промывки и сушки лудят обычным способом.

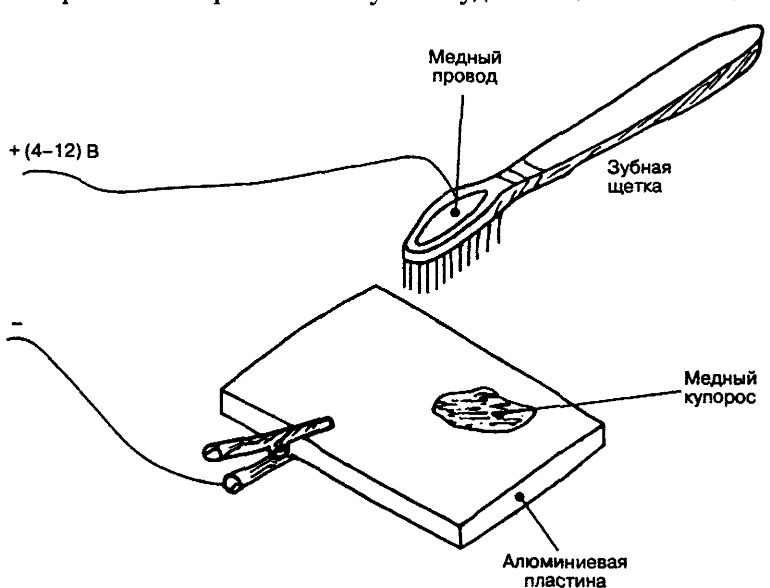


Рис. 2.8. Устройство для омеднения алюминиевой поверхности

К известным методам пайки алюминия можно добавить еще один, очень простой. Зачищенное и обезжиренное место пайки покрывают с помощью паяльника тонким слоем канифоли, а затем сразу же натирают таблеткой анальгина. После этого надо залудить поверхность припоем ПОС-50, прижимая к ней с небольшим усилием жало слегка перегретого паяльника. С залуженного места ацетоном смывают остатки флюса, еще раз осторожно прогревают и снова смывают флюс. Пайку деталей производят обычным способом.

В промышленности и ремонтной практике для пайки монтажных элементов из алюминия и его сплавов, а также соединения их с медью и другими металлами применяют припои марок П150А, П250А и П300А. Пайку производят обычным паяльником, жало которого прогрето до температуры 350 °С, с применением флюса, представляющего собой смесь олеиновой кислоты и йодида лития.

2.4. ТОКОПРОВОДЯЩИЙ КЛЕЙ

В некоторых случаях, когда электрический контакт необходим, а пайка затруднительна, а то и вообще невозможна, для соединения деталей удобно использовать *токопроводящий клей*, который можно приобрести в любом радиомагазине. Для любителей поэкспериментировать приведено несколько рецептов такого клея.

Первый рецепт. В фарфоровой ступе тщательно перемешивают все компоненты (табл. 2.4). Приготовленный состав (сиропообразная жидкость серо-черного цвета) переливают в стеклянную посуду с притертой пробкой. Перед употреблением клей хорошо перемешивают стеклянной палочкой и, если необходимо уменьшить вязкость, добавляют ацетон. Время высыхания клея составляет 10–15 мин.

Таблица 2.4. Первый рецепт токопроводящего клея

Состав	Количество, г
Графит порошковый (самый тонкий отмученный)	15
Серебро порошковое	30
Сополимер винилхлорид–винилацетат	30
Ацетон чистый	32

Этот клей может быть использован там, где требуется прочное соединение с достаточной электрической проводимостью. Им можно, например, приклеивать графитные электроды к алюминиевым мембранам в телефонных капсюлях, выводы к пьезоэлектрическим кристаллам, различные металлические детали и т.п.

Второй рецепт. Перечисленные в табл. 2.5 вещества тщательно перемешивают в ступе. К полученной смеси добавляют связующее вещество, составленное из компонентов, представленных в табл. 2.6.

Таблица 2.5. Второй рецепт токопроводящего клея

Состав	Количество, г
Графит порошковый (самый тонкий отмученный)	6
Серебро порошковое	60

Таблица 2.6. Компоненты связующего вещества

Состав	Количество, г
Нитроцеллюлоза	4
Канифоль натуральная	2,5
Ацетон или этилацетат	30

Все составляющие перемешивают и растирают до получения однородной пастообразной массы. Перед употреблением клей снова перемешивают и добавляют небольшие порции ацетона или этилацетата, чтобы придать ему необходимую вязкость.

Третий рецепт. Можно использовать другое связующее вещество (табл. 2.7). Его вливают в порошковую смесь, состоящую из серебра и графита. Токопроводящий клей с шеллачным связующим употребляется главным образом для приклеивания выводов к различным устройствам, механически не нагруженным. Хранят его в стеклянной посуде с притертой пробкой.

Таблица 2.7. Связующее вещество на основе шеллака

Состав	Количество, г
Шеллак натуральный	3
Этиловый спирт денатурированный	31

Четвертый рецепт. Можно приготовить электропроводящий клей, не включающий в себя дефицитные компоненты (порошковое серебро и полимерные связующие). Для этого необходимы медные опилки, графитовый порошок самого тонкого помола и связующее вещество, например лак или клей. Медные опилки легко получить, обработав кусок меди мелким напильником. Графит можно настрогать ножом с угольной щетки любого коллекторного электродвигателя или с графитового стержня круглого элемента питания. Связующее вещество должно быть по возможности более жидким.

Сначала смешивают две части медного порошка и одну часть графита (по массе), затем добавляют связующее вещество

до тех пор, пока не будет достигнута требуемая консистенция, – и клей готов. В качестве связующего вещества очень эффективен кедровый лак для художественных работ. Он достаточно жидкий и при высыхании не изолирует проводящие частицы одну от другой. Можно использовать и другой масляный лак или клей, предварительно разбавив их растворителем.

Совет. *Прежде чем применять проводящую массу, следует на каком-либо образце испытать прочность клеевого шва и его проводимость. Если в качестве связующего вещества выбран лак, прочность шва будет не очень высока.*

Пятый рецепт. В этом рецепте используется смесь клея «Момент» и графитового порошка, полученного после обработки коллекторной графитовой щетки надфилем с мелкой насечкой. Концентрацию порошка лучше всего подобрать опытным путем. При этом следует помнить, что чем больше графита, тем меньше контактное сопротивление, но тем гуще получится смесь и труднее будет ее наносить. Если электрическое сопротивление склейки не превышает 30 кОм, клей можно считать пригодным.

Вся современная радиоаппаратура собирается на печатных платах, что позволяет повысить ее надежность, а также упростить сборку. Необходимо помнить, что при изготовлении печатных схем следует придерживаться некоторых простых правил, несоблюдение которых может привести к отказу работы устройств или даже навсегда вывести их из строя. Эти ограничения касаются в основном определения теплового режима при размещении компонентов на плате, взаимного расположения проводников для устранения их влияния друг на друга и т.п. Однако, имея некоторый практический опыт, ограничения можно обойти или упростить. Научиться делать *печатные платы* своими руками несложно, тем более что особых секретов в данной технологии нет. Положительные и отрицательные стороны применения печатных схем можно свести к следующим показателям (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Преимущества и недостатки использования печатных схем

Преимущества	Недостатки
Высокая надежность	Плохая ремонтопригодность
Простота проверки	Проблемы с теплоотводом
Легко обнаружить причины отказов	Необходимость следовать определенным правилам и ограничениям при конструировании
Близкое соответствие расчетных и реально получаемых характеристик	Очень трудно, а иногда невозможно вносить изменения в схему

Разработать изделие простое и обладающее высокой прочностью, с конфигурацией, облегчающей его эксплуатацию, – задача не из легких. Кроме того, изделие должно иметь хороший внешний вид. Различают три способа изготовления печатного монтажа и печатных схем. Радиолюбитель может выбрать любой из них.

Механический способ. На фольгированный гетинакс или текстолит наносится рисунок печатного монтажа, а затем фольга с пробельных мест удаляется ножом, резаком, скальпелем или фрезой. Этот способ самый простой, однако он требует от мастера определенных навыков. Кроме того, он непригоден для изготовления сложных устройств.

Химический способ. На фольгированный текстолит тем или иным способом наносится рисунок печатного монтажа, после чего незащищенные места вытравливаются. Этот способ более

трудоемок, кроме того, вам потребуется раствор для травления. Травленые платы по внешнему виду более похожи на заводские, поэтому многие радиолюбители предпочитают именно его. Химический способ универсален, но порой отпугивает радиолюбителей сложностью из-за незнания некоторых правил при проектировании и изготовлении травленых плат.

Способ переноса. Проводники печатного монтажа, вырезанные из медной или латунной фольги и смонтированные на какой-либо временной подложке (например, на миллиметровой бумаге), наклеиваются на диэлектрик, после чего подложка удаляется. Это достаточно трудоемкий способ, однако он ценен тем, что позволяет наклеивать печатные проводники на любой плоский диэлектрик и не требует применения сложной оснастки и дефицитных материалов. В настоящее время в радиолюбительской практике способ переноса практически не используется.

В изготовлении печатной платы механическим или химическим способом можно выделить три стадии работ, которые и будут подробно рассмотрены в данной главе:

1. Подготовка рисунка печатного монтажа.
2. Нанесение рисунка на фольгу.
3. Удаление ненужных участков (травление или вырезание).

Итак, если вы решили собрать понравившуюся электрическую схему, а раньше этим никогда не занимались, внимательно прочитайте предложенные ниже советы. Со временем, когда появится опыт, вы сможете выбрать наиболее удобную для себя методику.

3.1. РИСУНОК ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

При изготовлении различных устройств радиолюбители часто вынуждены самостоятельно разрабатывать *рисунок печатной платы*. Об основных правилах и способах создания такого рисунка рассказывается в данном разделе.

3.1.1. Подготовка топологии печатной платы

Прежде чем приступить к разработке рисунка печатной схемы, необходимо запомнить; что расположение компонентов может определяться как заданными параметрами, так и критичностью размещения некоторых элементов (это позволит предотвратить

побочные эффекты, например помехи). Чаще всего рисунок проводников представляет собой такую интерпретацию принципиальной схемы, которая с учетом электрических характеристик имеет хорошие механические свойства и достаточно проста. Маркировка компонентов и выходных контактов на рисунке платы должна соответствовать маркировке электрической схемы, что значительно упрощает сборку и последующую проверку устройства.

Итак, вы выбрали схему и приобрели необходимые детали. Теперь можно приступать к разводке топологии печатных проводников, учитывая реальные габариты деталей. Удобнее делать это на миллиметровой бумаге, но можно взять и обычный лист в клеточку. Нарисуйте контуры платы. Лучше, если ее габариты будут соответствовать размерам какого-либо готового корпуса (см. приложение 6). Корпус прибора можно изготовить и самостоятельно, однако это потребует много времени, и не каждый сможет его сделать аккуратно и красиво. Некоторые рекомендации по этому вопросу представлены в главе 5.

Проектировать печатные платы наиболее удобно в масштабе 2:1 на миллиметровой или другой бумаге, на которую нанесена *сетка* с шагом 5 мм. При проектировании в масштабе 1:1 рисунок получается мелким, плохо читаемым, и поэтому при дальнейшей работе над печатной платой неизбежны ошибки. Масштаб 4:1 – другая крайность: с большим чертежом неудобно работать.

Все отверстия под выводы деталей в печатной плате целесообразно размещать в узлах сетки, что соответствует шагу 2,5 мм на реальной плате (далее по тексту указаны реальные размеры). С таким шагом расположены выводы у большинства микросхем в пластмассовом корпусе, у многих транзисторов и других электрорадиокомпонентов. Меньшее расстояние между отверстиями следует выбирать лишь в тех случаях, когда это крайне необходимо.

В отверстия с шагом 2,5 мм, находящиеся на сторонах квадрата 7,5×7,5 мм, удобно монтировать *микросхему* в круглом металлостеклянном корпусе. Для установки ИС в пластмассовом корпусе с двумя рядами жестких выводов (корпус типа DIP) в плате необходимо просверлить два ряда отверстий. Шаг отверстий – 2,5 мм (строго говоря, 2,54 мм), расстояние между рядами

кратно 2,5 мм. Следует заметить, что микросхемы с жесткими выводами требуют большей точности разметки и сверления отверстий.

Микросхемы в корпусах типа SO или FLAT имеют гибкие выводы и припаиваются непосредственно к проводникам печатной платы. Следует учесть, что расстояние между выводами у них в два раза меньше и составляет 1,27 мм.

Если размеры печатной платы заданы, необходимо начертить ее контур и крепежные отверстия. Вокруг отверстий выделяют запретную для проводников зону с радиусом, несколько превышающим половину диаметра металлических крепежных элементов.

Далее следует примерно расположить наиболее крупные детали – реле, переключатели (если их впаивают в печатную плату), разъемы, большие детали и т.д. Их размещение обычно зависит от общей конструкции устройства, определяемой размерами имеющегося корпуса или свободного места в нем. Часто, особенно при разработке портативных приборов, размеры корпуса определяют по результатам разводки печатной платы.

Цифровые микросхемы предварительно расставляют на плате рядами с межрядными промежутками 7,5 мм. Если микросхем не более пяти, все печатные проводники обычно удается разместить на одной стороне платы и обойтись небольшим числом проволочных перемычек, впаиваемых со стороны деталей. Не пытайтесь разместить на односторонней печатной плате большее количество цифровых микросхем – это значительно затруднит разводку и потребует использования чрезмерно большого числа перемычек. В таких случаях разумнее перейти к двусторонней печатной плате.

Условимся называть ту сторону платы, где размещены печатные проводники, *стороной проводников*, а обратную – *стороной деталей*, даже если на ней вместе с деталями проложена часть проводников. Особый случай представляют платы, у которых и проводники, и детали размещены на одной стороне, причем детали припаяны к проводникам без отверстий. Необходимо знать, что внести изменения в печатный монтаж, когда сторона проводников и сторона деталей едины, очень сложно. Платы подобной конструкции применяют крайне редко.

Микросхемы размещают так, чтобы все соединения на плате были по возможности короче, а число перемычек – минимальным.

В процессе разводки проводников расположение микросхем относительно друг друга придется менять не один раз. Рисунок печатных проводников аналоговых устройств любой сложности обычно удается развести на одной стороне платы.

Аналоговые устройства, работающие со слабыми сигналами, и цифровые на быстродействующих микросхемах (например, серий КР531, КР1531, К500, КР1554) независимо от их рабочей частоты целесообразно собирать на платах с двусторонним фольгированием. Причем фольга той стороны платы, где располагают детали, будет играть роль общего провода и экрана. Фольгу общего провода не следует использовать в качестве проводника для большого тока (например, от выходных каскадов, динамической головки, выпрямителя блока питания и т.д.).

Далее можно начинать собственно разводку. Полезно заранее измерить и записать размеры мест, занимаемых используемыми элементами. Резисторы МЛТ-0,125 устанавливают рядом, соблюдая расстояние между их осями 2,5 мм, а между отверстиями под выводы одного резистора – 10 мм. Так же размечают места для чередующихся резисторов МЛТ-0,125 и МЛТ-0,25 или двух резисторов МЛТ-0,25, если при монтаже их слегка отогнуть один от другого (три таких резистора поставить вплотную к плате уже не удастся).

На таком же расстоянии между выводами и осями элементов устанавливают большинство малогабаритных диодов и конденсаторов КМ-5 и КМ-6, вплоть до КМ-66 емкостью 2,2 мкФ. Не следует размещать бок о бок две «толстые» (более 2,5 мм) детали – их следует чередовать с «тонкими». Если нужно, расстояние между контактными площадками той или иной детали увеличивают.

В этой работе удобно использовать небольшую *пластину-шаблон* (рис. 3.1) из стеклотекстолита или другого материала, в которой с шагом 2,5 мм насверлены рядами отверстия диаметром 1–1,1 мм, и по ней планировать возможное взаимное расположение элементов.

Линии *соединения* элементов выполняются в соответствии с электрической схемой по кратчайшему пути при минимальной длине соединительных проводников. Входные и выходные цепи схемы должны быть разнесены друг от друга по возможности дальше, что исключит наводки и самовозбуждение схем

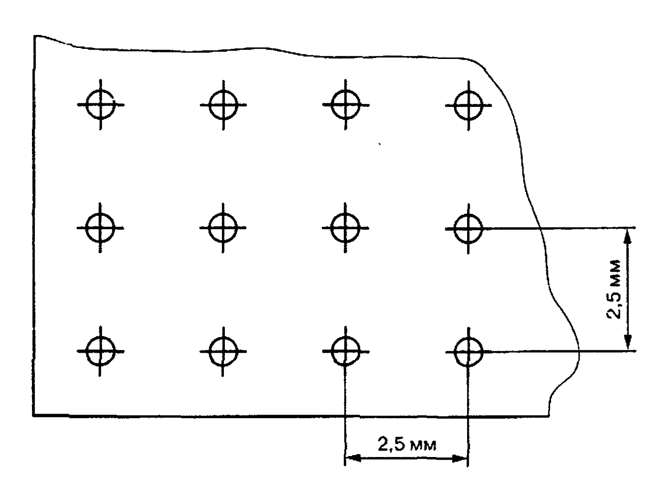


Рис. 3.1. Пластина-шаблон

усилителей. Удачно разместить элементы с первой попытки, как правило, не получается, и приходится изменять рисунок (иногда несколько раз) для подбора оптимальной компоновки деталей.

После размещения всех элементов необходимо еще раз проверить соответствие топологии платы электрической схеме и устранить все выявленные ошибки (они будут!). Чем тщательнее выполняется этот этап работы, тем меньше будет проблем при настройке уже собранного устройства.

Если резисторы, диоды и другие детали с осевыми выводами располагать перпендикулярно печатной плате, можно существенно уменьшить ее площадь, однако рисунок печатных проводников усложнится.

При изготовлении рисунка всегда нужно помнить о достаточных зазорах между проводниками и учитывать свойства поверхности платы. Очень важно оставлять между проводниками максимально возможное расстояние, особенно если они находятся под высоким напряжением или схема должна обладать большим внутренним сопротивлением. Следовательно, в некоторых случаях нужно уделять особое внимание взаимному *расположению проводников*. Так цепи с большим внутренним сопротивлением нужно размещать как можно дальше от цепей питания или от других сигнальных цепей. В противном

случае могут ухудшиться соотношение сигнал–шум, появиться индуктивные наводки или возникнуть нежелательные обратные связи.

При разводке также следует ограничить количество проводников между контактными площадками, предназначенными для подпайки выводов радиоэлементов. В большинстве используемых в радиолюбительских конструкциях деталей диаметр отверстий под выводы может быть равен 0,8 мм. Ограничения на число проводников для типичных вариантов расположения контактных площадок с отверстиями такого диаметра приведены на рис. 3.2 (сетка соответствует шагу 2,5 мм на плате).

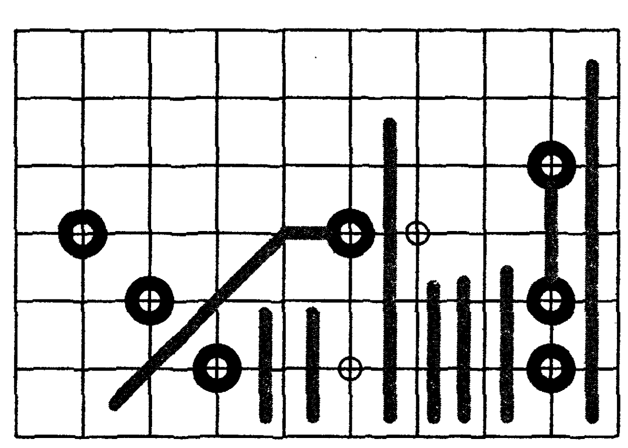


Рис. 3.2. Типичные варианты расположения контактных площадок, отверстий и проводников на печатной плате

Между контактными площадками отверстий с межцентровым расстоянием 2,5 мм установить проводник практически нельзя. Однако это возможно, если у одного или обоих отверстий такая площадка отсутствует (например, у неиспользуемых выводов микросхемы или у выводов любых деталей, припаиваемых на другой стороне платы). Такой вариант показан в верхней части рис. 3.2 (в центре). Вполне допустимо проложить проводник между контактной площадкой, центр которой лежит в 2,5 мм от края платы, и этим краем (см. рис. 3.2, справа).

При реализации печатной схемы часто появляется множество побочных эффектов, например возникают помехи. Детали

необходимо размещать так, чтобы они не имели между собой паразитных связей, то есть взаимодействий магнитных и электрических полей различных элементов схемы. Например, часто встречается паразитная связь коллектора транзистора входного каскада с контуром магнитной антенны, которая приводит к самовозбуждению усилителя высокой частоты. Чтобы ее исключить, транзистор располагают на расстоянии 2–3 см от антенны или отгораживают экраном. Таким образом можно избавиться и от других паразитных связей.

Не следует размещать рядом магнитную антенну, динамик и выходной трансформатор. Их магнитные поля могут оказать влияние друг на друга, вследствие чего возникнут наводки. В этом случае необходимо правильно сориентировать детали, то есть принять во внимание конфигурацию их полей.

При использовании микросхем нужно максимально разносить входные и выходные цепи. Монтаж входных цепей ИС следует проводить в непосредственной близости от нее.

Если при проектировании частей схемы придерживались правила использования отдельного заземляющего провода, подключаемого к «земле» в одной точке, то также возникнут помехи. Во избежание этого необходимо обратить внимание на форму заземляющих проводников.

В том случае, когда рисунок проводников выполняется геометрически правильными линиями, можно ожидать следующих проблем: утечки, высокого напряжения, больших помех, нежелательных связей, потери сигнала из-за емкостных эффектов. Минимальная ширина проводников должна составлять не менее 1–1,5 мм. Чтобы при пайке не появилось мостиков из припоя, минимальный зазор между проводниками должен быть больше 1–1,5 мм.

При проектировании полупроводниковых схем печатные проводники, как правило, прокладываются по прямым линиям и прямым углам с незначительным их округлением, что позволяет предотвратить возникновение коронного разряда из-за концентрации электрических полей.

Микросхемы, выводы которых расположены параллельно корпусу (серии 133, К134 и др.), можно смонтировать, предусмотрев соответствующие контактные площадки с шагом 1,27 мм, однако это заметно затрудняет и разводку, и изготовление платы.

Гораздо целесообразнее чередовать подпайку выводов микросхемы к прямоугольным площадкам со стороны деталей и круглым площадкам через отверстия на противоположной стороне (рис. 3.3). Отметим, что на рисунке ширина выводов микросхемы показана не в масштабе. В качестве примера взята двусторонняя плата. Подобные микросхемы, имеющие длинные выводы (например, серии 100), можно монтировать так же, как пластмассовые, изгибая выводы и пропуская их в отверстия платы. Контактные площадки в этом случае располагают в шахматном порядке (рис. 3.4).

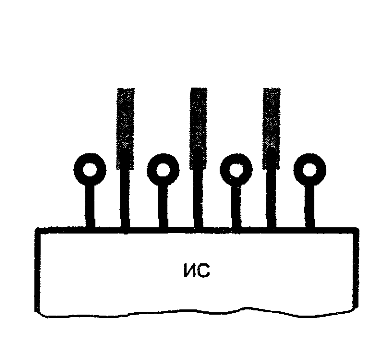


Рис. 3.3. Контактные площадки для микросхем в планарных корпусах

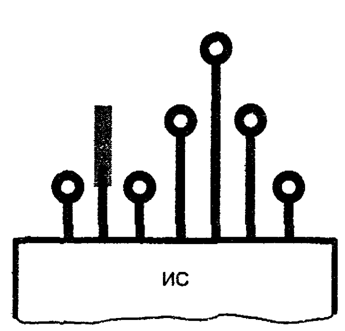


Рис. 3.4. Контактные площадки для микросхем с длинными выводами

При разработке двусторонней платы надо стремиться к тому, чтобы на стороне деталей осталось меньшее число соединений. Это облегчит исправление возможных ошибок, налаживание устройства и, если необходимо, его модернизацию. Под корпусами микросхем размещают лишь общий провод и провод питания, но подключать их нужно только к выводам питания микросхем. Проводники к входам микросхем, подсоединяемым к цепи питания или общему проводу, прокладывают на стороне проводников, причем так, чтобы их можно было легко перерезать при налаживании или усовершенствовании устройства.

Если же устройство настолько сложно, что на стороне деталей приходится прокладывать и проводники сигнальных цепей, позаботьтесь о том, чтобы любой из них был доступен как для подсоединения к нему, так и исключения его из цепи.

При разработке двусторонних печатных плат нужно постараться обойтись без специальных перемычек между сторонами платы, используя для этого контактные площадки соответствующих выводов монтируемых деталей. Выводы в этих случаях пропаивают с обеих сторон платы. На сложных платах иногда удобнее подпаивать некоторые детали непосредственно к печатным проводникам. *Контактные площадки* в этом случае делают шире (3–4 мм). На таком участке фольги допускается припаивание только одного навесного компонента. Если в качестве общего провода используется сплошной слой фольги, отверстия под выводы, не подключаемые к нему, следует раззенковать со стороны деталей. Печатные дорожки питания делают шире, нежели другие проводники.

Обычно узел, собранный на печатной плате, подключают к другим узлам устройства гибкими проводниками. Чтобы не испортить печатные проводники при многократных перепайках, желательно предусмотреть на плате в точках соединений контактные стойки (удобно использовать *штыревые контакты* диаметром 1 или 1,5 мм от разъемов 2РМ). Стойки вставляют в отверстия, просверленные точно по диаметру, и пропаивают. На двусторонней печатной плате контактные площадки для распайки каждой стойки должны быть на обеих сторонах.

Предварительную *разводку проводников* удобно выполнять мягким карандашом на листе гладкой бумаги. Сторону печатных проводников рисуют сплошными линиями, обратную сторону – штриховыми. По окончании разводки и корректировки чертежа под него кладут копировальную бумагу красящим слоем вверх и красной или зеленой шариковой ручкой обводят контуры платы, а также проводники и отверстия, относящиеся к стороне деталей. В результате на обратной стороне листа получится рисунок проводников для стороны деталей.

Приведенных выше рекомендаций вполне достаточно для проектирования простых радиолюбительских конструкций. Если же приступают к разработке достаточно сложных и ответственных устройств, необходимо учитывать множество других характеристик печатных плат. Это, к примеру, материал диэлектрика, способ крепления платы, ее резонансная частота, место установки (стационарно, переносное устройство, автомобиль), электрические параметры печатного монтажа и т.д.

Однако рассмотрение данных вопросов выходит за рамки нашего издания.

3.1.2. Использование ПК для проектирования печатных плат

Радиолюбителям, знакомым с компьютерными технологиями, можно рекомендовать использование программного обеспечения из САПР P-CAD (ACCEL P-CAD), OrCAD (PCB Desing Studio), eProduct Designer (PowerPCB) и др. Программа ACCEL P-CAD PCB, например, значительно упрощает разработку топологии печатной платы, однако требует определенных навыков работы. Использование таких программ оправдано только в том случае, если вам часто приходится создавать рисунки печатных плат или вы проектируете достаточно сложную цифровую схему. Не стоит тратить время на их изучение, если вам нужно сделать одну простую плату для стабилизатора напряжения.

Ознакомиться с подобными программами вы можете на специальных курсах или прочитав соответствующие пособия по работе с САПР.

3.2. НАНЕСЕНИЕ РИСУНКА НА ПЛАТУ

3.2.1. Изготовление рисунка вручную

Теперь можно приступать к изготовлению платы. Для этого из фольгированного стеклотекстолита следует вырезать заготовку печатной платы (ножовкой, резаком или ножницами по металлу) соответствующих размеров и разметить ее (с помощью измерительного циркуля или штангенциркуля) на сетке с шагом 2,5 мм. Кстати, размеры платы удобно выбрать кратными 2,5 мм – в этом случае размечать ее можно с четырех сторон. Если на плате должны быть какие-либо вырезы, их делают после разметки. Двустороннюю плату размечают с той стороны, где проводников больше.

К заготовке прикрепляется *рисунок* платы (липкой лентой или пластырем), по которому с помощью керна или шила намечаются отверстия для выводов радиоэлементов и крепления платы (рис. 3.5г). Для удобства дальнейшей работы эти точки на плате можно пометить фломастером. Если между рисунком

и заготовкой поместить копировальную бумагу, то можно перенести на фольгу весь чертеж. Это особенно необходимо в том случае, когда топология печатной платы достаточно сложна.

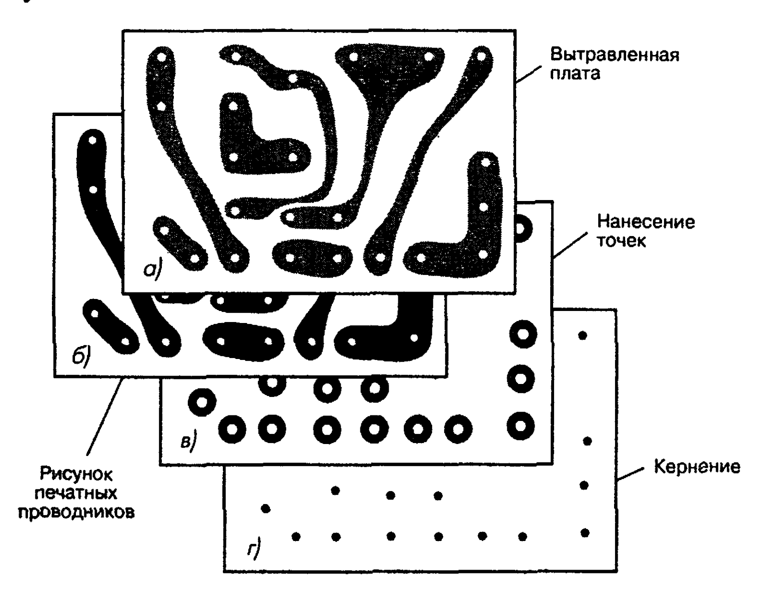


Рис. 3.5. Химический метод изготовления печатных плат

Сняв бумагу, сверлят отверстия диаметром 0,8–1,5 мм для радиоэлементов и 3–3,5 мм для крепления платы. Отметим, что можно сверлить плату и по бумаге. Это несколько ускоряет изготовление, однако в случае необходимости рисунок будет трудно использовать вторично. Также не гарантируется точность расположения отверстий и аккуратность исполнения.

Для сверления плат удобно пользоваться миниатюрной электродрелью. Окончив сверление, заусенцы с краев отверстий снимают сверлом большего диаметра, мелкозернистым бруском или мелкой наждачной шкуркой («нулевкой»).

Перед нанесением рисунка плату нужно обезжирить техническим спиртом или ацетоном, протерев поверхность смоченной салфеткой. Подойдут и другие растворители, а также моющие растворы. После этого, ориентируясь на положение отверстий, на плату переносят рисунок печатных проводников в соответствии с чертежом.

Для нанесения рисунка можно воспользоваться двумя методами:

- проводники рисуются от отверстия к отверстию (рис. 3.6а) в соответствии с топологией;
- счищаются или протравливаются только узкие промежутки между токопроводящими дорожками (рис. 3.6б).

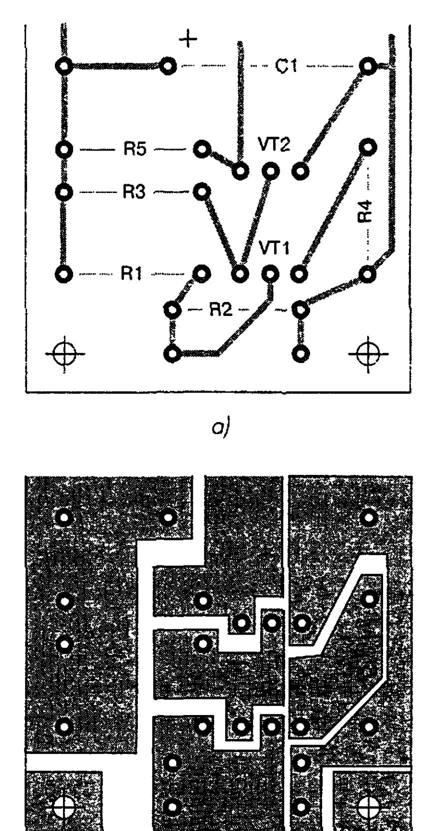


Рис. 3.6. Рисунок печатной платы

Нанесение рисунка первым методом занимает меньше времени, поэтому он чаще используется. Однако второй способ

иногда необходим при изготовлении различных высокочастотных схем и схем с очень большой плотностью монтажа.

В первом случае для выполнения *рисунка проводников* применяют любой быстро сохнущий лак, например косметический для ногтей или мебельный (в лак можно добавить пасту шариковой авторучки, чтобы рисунок был хорошо виден на плате), а также нитрокраску.

Очень удобно рисовать печатные соединения тонким водостойким *маркером*, однако не каждый из них для этого подходит. Нужно заранее взять все имеющиеся маркеры, нарисовать ими полоски на ненужном куске стеклотекстолита и протравить в хлориде железа. Вы должны использовать тот, которым будет нарисована оставшаяся после травления линия.

Рисунок на плату можно наносить также тушью, нитрокраской, эмалью или битумным лаком. Консистенция краски или лака должна быть такой, чтобы рисунок не расплывался по фольге. Необходимую густоту краски определяют опытным путем по качеству проводимых линий. При необходимости ее разбавляют ацетоном или растворителем 647. Если же надо сделать краску более густой, ее оставляют на некоторое время в открытой посуде.

Очень удобен в работе простой *чертежный инструмент*, который можно изготовить самостоятельно. К концу обломанного ученического пера припаивается укороченная до 10–15 мм инъекционная *игла* диаметром 0,8 мм, сточенная под прямым углом к ее оси. Рабочую часть надо зашлифовать мелкозернистой наждачной бумагой. На другой конец надевается прозрачная медицинская пластмассовая трубка длиной 30–40 см. Окунув рабочую часть иглы в чернила, нужно аккуратно набрать в трубку немного краски. Наружную поверхность иглы обтирают и проводят рисунок будущей печатной дорожки, пользуясь для этого линейкой с наклеенными кусочками резины, чтобы край линейки не касался фольги. Имея набор игл разного диаметра, можно наносить дорожки самой различной ширины вплоть до очень узких.

Укороченную иглу можно присоединить к шприцу. Тогда будет удобно набирать чернила для нанесения рисунка печатной платы, используя его поршень. При рисовании поршень нужно убрать, а чернила самотеком будут поступать в иглу

Однако рисовать шприцем не всегда удобно. Для этих целей можно изготовить следующее приспособление. Берется мягкая пластиковая бутылочка, например из-под клея. В ее крышку помещается достаточно жесткая трубочка диаметром 3–4 мм и длиной 15–20 см, на конец которой надевается игла от шприца. Необходимо предварительно спилить иглу под прямым углом. Одной рукой следует давить на бутылку, второй – рисовать. Если ослабить давление на стенки бутылки, краска втягивается в иглу, капель и клякс не бывает. Краска, эмаль ЭП52 (или аналогичная) разбавляется по мере надобности. Она дает очень плотный и ровный след и легко смывается (не растворяется, а именно снимается пленкой) при помощи спирта, ацетона или растворителя. После работы игла промывается и затыкается стальной проволокой до следующего раза.

Для нанесения рисунка также используют стеклянные рейсфедеры разного диаметра, пишущие узлы от шариковых авторучек (для этого необходимо предварительно удалить шарик иголкой), кисточки, спички, перья и т.д.

В первую очередь рисуют контактные площадки (рис. 3.5в), а затем проводят соединения между ними, начиная с тех участков, где проводники расположены тесно (рис. 3.5б). После нанесения рисунка следует по возможности расширить проводники общего провода и питания, что уменьшит их сопротивление и индуктивность, а значит, обеспечит стабильность работы устройства. Целесообразно также увеличить контактные площадки, особенно те, к которым будут припаяны стойки и крупногабаритные детали. Для защиты от травильного раствора свободные участки фольги закрашивают или заклеивают любой липкой пленкой.

В случае ошибки при нанесении рисунка не торопитесь сразу же исправлять ее – лучше поверх неверно намеченного проводника проложить правильный, а лишнюю краску удалить при окончательном исправлении рисунка (это необходимо сделать, пока краска не засохла). Острым скальпелем или бритвой плату ретушируют, то есть прорезают удаляемый участок по границам, после чего его выскребают (рис. 3.5а).

Специально сушить нитрокраску после нанесения рисунка не нужно. Пока вы исправляете плату и отмываете инструмент, она высохнет. Канал иглы чистят от краски при помощи отрезка

тонкой стальной проволоки или промывают ацетоном. Внутрь иглы вставляют мандрен (проволоку, препятствующую засорению).

При единичном изготовлении небольших печатных плат удобно пользоваться рамкой, которую можно вырезать или склеить из толстого картона. Толщина рамки должна быть на 1–1,5 мм больше толщины заготовки платы.

Заготовку помещают в окно рамки, лежащей на столе, и по линейке отмечают расположение проводников. Рамка позволяет наносить новые линии, не дожидаясь высыхания краски на только что проведенных. Заготовку целесообразно зафиксировать в рамке.

Для нанесения рисунка хорошо подходит лак на основе клея ПВА. Состав представляет собой смесь трех объемных частей клея ПВА и одной части водорастворимой туши. Готовить его надо на один раз, так как долго он не хранится. Загустевший состав разбавляют водой. Рисунок можно выполнять обычными перьями, а широкие линии – плакатными. Травят плату после полного высыхания лака около четырех часов при температуре 50–60 °С. За это время красящий состав набухает и легко смывается лоскутом ткани под струей воды. Качество дорожек очень хорошее, боковое подтравливание отсутствует.

Вместо краски можно использовать изоляционную *ленту ПВХ*, полоски и кружки которой наклеивают на фольгу в соответствии с рисунком печатного монтажа. Кружки и полоски заготавливают следующим образом. На мотке изоленты делают надрезы глубиной 1,5–2 мм (рис. 3.7а), отделяют от круга несколько слоев ленты и острым ножом по линейке вырезают полоски, а *высечкой* вырубают кружки. Ширина полосок и диаметр кружков зависят от чертежа печатного монтажа (обычно полоски имеют ширину 1–2 мм, а диаметр кружков составляет 2,5–3 мм).

Высечку лучше всего выточить из стали и закалить (рис. 3.7б). После вырубки получается стопка лежащих друг на друге кружков. Вырезав детали из изоленты, приступают к изготовлению печатной платы.

Пластину из фольгированного стеклотекстолита готовят по принципу, рассмотренному в самом начале данного раздела. Далее из стопки кружков при помощи скальпеля и пинцета

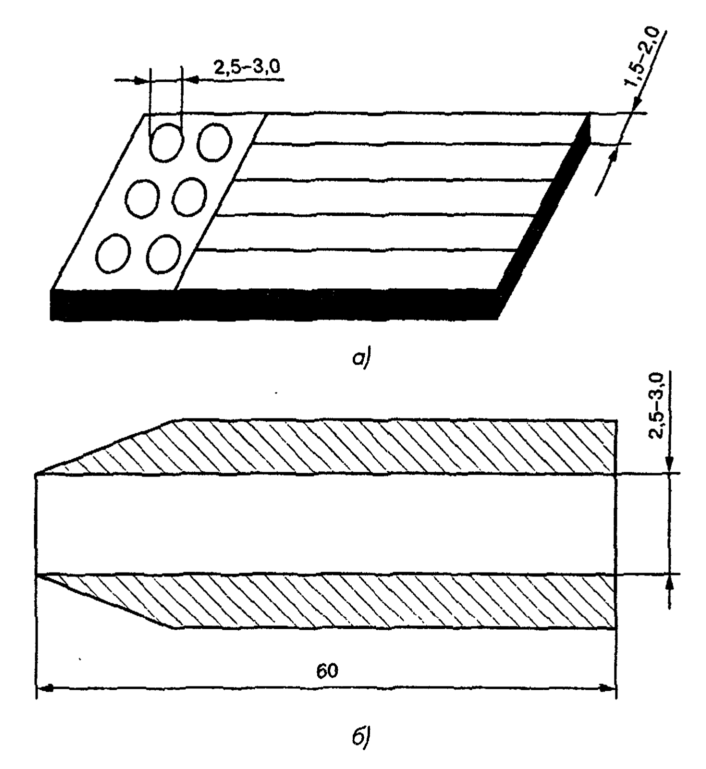


Рис. 3.7. Заготовка кружков и полосок из изоленты (а) и высечка (б)

отделяют один кружок и наклеивают его на точку размещения отверстий, строго следя за центровкой.

Закончив наклеивать кружки, липкими полосками соединяют между собой контактные площадки (кружки) согласно чертежу печатной платы. При этом надо придерживаться следующих правил: не касаться руками клеящей поверхности полоски; при наклейке не растягивать ленту, а укладывать ее без дополнительных усилий; проводники изгибать с возможно большим радиусом; соединять полоски с кружками так, как показано на рис. 3.8а, то есть встык, и закрашивать промежуток между кружком и полоской краской или лаком. Если же соединять заготовки внакладку (рис. 3.8б), что кажется более простым, то при травлении раствор попадет между полоской и кружком, концы полосок подтравятся и будут выглядеть, как на рис. 3.8б

(внизу). Следовательно, такое соединение все равно требует закраски мест стыка кружка и полоски. Затем плату травят, промывают и сушат.

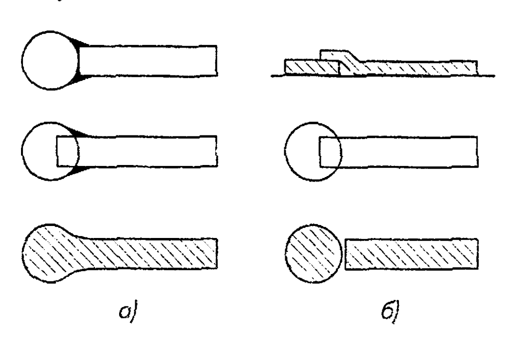


Рис. 3.8. Выполнение рисунка печатного монтажа лентой ПВХ

Самый простой и быстрый вариант, но возможно не самый лучший, – это покрытие платы, на которую предварительно нанесен рисунок, скотчем (не все виды подходят!). После этого по рисунку дорожек проводят либо острым ножом, либо горячим выжигателем с острым нагревательным элементом (так работать намного удобнее). Затем ненужные участки удаляются, а плату травят. По окончании травления слой скотча снимается, и плата готова!

Второй метод изготовления печатного монтажа используют, если на плате необходимо оставить почти всю фольгу, убрав только узкие промежутки между контактными площадками (см. рис. 3.6б). В этом случае традиционная технология становится слишком трудоемкой – ведь надо покрыть лаком всю поверхность платы и после высыхания счистить лишние участки лака при помощи скальпеля и линейки, оставляя закрашенными только токопроводящие поверхности.

Но есть другой, более удобный прием. На предварительно обезжиренной поверхности заготовки (фольге) рейсфедером, ручкой или другим инструментом прорисовывают все линии, которые надо стравить. В качестве краски используют тушь, в которой растворен сахар в соотношении 1:1. Когда тушь просохнет, всю поверхность платы покрывают асфальтобитумным лаком. После его высыхания заготовку кладут в теплую (но не горячую) воду. Через некоторое время тушь разбухает и прорывает лак.

Ватным тампоном аккуратно удаляют лак и остатки туши. Затем травят плату обычным способом.

Рассмотренный прием удобен при формировании на плате плоских катушек индуктивности, различных надписей, видных на просвет, и т.д. На практике удается получить протравленные промежутки шириной около 0,1 мм. Для этого толщина лакового слоя должна быть очень небольшой – по цвету покрытая лаком плата должна быть похожа на слабый чай.

В заключение отметим, что существует способ изготовления печатной платы без использования химических реактивов. При этом зазоры между контактными дорожками выполняются резаком при помощи металлической линейки, но этот метод требует больше сил и определенных навыков, так как резак может соскочить и испортить нужные участки фольги. Часть фольги в этом случае механически удаляется, образуя изолирующие дорожки. Необходимо знать, что такой способ достаточно трудоемок и при изготовлении печатной платы сложной топологии не применяется. Его используют очень редко, в основном когда нужно быстро сделать небольшую плату с простой топологией, а хлорида железа нет под рукой (подробнее см. раздел 3.4).

3.2.2. Нанесение рисунка с помощью лазерного принтера

Первый метод. Для нанесения рисунка необходимо следующее:

- фольга алюминиевая, обязательно тонкая. Купить ее можно в хозяйственном магазине. Одна сторона должна быть зеркальной, а вторая – матовой. Чтобы понять, подходит ли фольга для этого способа нанесения рисунка, можно провести маленький тест. Если отрезать полоску такой фольги размером 1×10 см и пытаться удерживать ее горизонтально за один конец, то полоска будет гнуться под собственным весом. Если фольга толстая, этого не произойдет. В новой упаковке тонкая фольга обычно имеет зубчатый край листа, а рулон запаян в прозрачную пленку;
- принтер лазерный. Пойдет любой, но лучше, чтобы он пропускал бумагу с наименьшим изгибом. Можно использовать нижний лоток. Необходимо отключить экономичный режим, чтобы принтер делал рисунок темнее, то есть расходовал больше тонера;

- утюг электрический. Терморегулятор устанавливается на одну точку (синтетика). Нужную температуру определяют экспериментально: утюг должен расплавлять изображение, сделанное лазерным принтером, не сразу. То есть тонер при такой температуре должен стать из твердого вязким, но не жидким;
- самоклеящаяся бумага для лазерной печати;
- лист резины. Резина должна быть как можно более гладкая, лучше мягкая, толщиной 5 мм.

Возьмите лист обычной бумаги, на которой печатает *принтер*. Наложите на него кусок фольги чуть меньшего размера матовой стороной вверх и осторожно, но ровно скрепите его по короткой стороне полосками из самоклеящейся бумаги. Скотч использовать нельзя, потому что в принтере есть нагреватель, на котором он останется. Клейкая поверхность не должна, естественно, заходить за края бумаги. Теперь заправьте эту «конструкцию» в принтер таким образом, чтобы приклеенный край фольги при печати шел первым. Заставить принтер протащить этот «фольгированный» лист нетрудно – напечатайте текстовый файл, состоящий из одного пробела. Испортить принтер фольгой очень нелегко. А забить его можно точно так же, как и бумагой. Фольга должна быть приклеена прочно, ровно, чтобы не образовывалось складок. Разрывов по краям также быть не должно. Вышедший из принтера лист фольги имеет явные полосы от колесиков, которыми устройство протаскивает бумагу. Запомните: там, где расположены полосы, места будут нерабочими, так как на них не удастся сделать точный рисунок.

Теперь нужен собственно рисунок будущей платы. Формат изображения практически не имеет значения. Если рисунок растровый, то возникнут проблемы с точными размерами, будут видны пиксели и т.п., но в принципе можно использовать и его. С векторными же форматами (.wmf, например) трудности могут возникнуть только при установке масштаба. Очень легко чертить и задавать точные размеры в AutoCAD. Невытравливаемые места (дорожки) должны быть черными. Не забудьте о том, что рисунок на плате будет зеркальным по отношению к чертежу. Плата должна быть обведена дорожкой шириной 2 мм, по которой потом будет удобно обрезать.

Возможно, проще всего нарисовать плату на листе бумаги А4 в масштабе 1:1 и отсканировать, чтобы затем напечатать. Следите за тем, чтобы рисунок был в масштабе и на нужном месте листа. Сделайте еще одну «конструкцию» из бумаги, фольги и липкой полоски, но отрезок фольги возьмите небольшой, так как теперь известно, где будет располагаться рисунок. Используйте только чистую бумагу, иначе фольга может приклеиться к листу. Напечатайте рисунок платы и внимательно его рассмотрите. Скорее всего где-то получился брак из-за неровностей фольги, попавшей соринки и т.п. В таком случае лучше напечатать все еще раз на новом куске фольги. Если весь рисунок «уехал» и растянулся, значит, вы напечатали его не на матовой, а на гладкой стороне фольги. Когда все получится правильно и качественно, осторожно отрежьте фольгу от бумаги.

Теперь положите на какую-нибудь теплостойкую поверхность лист резины, на нем разместите фольгу рисунком вверх и накройте куском тщательно очищенного фольгированного стеклотекстолита медной фольгой вниз. Сверху поставьте горячий утюг и прижмите его чем-нибудь тяжелым (16 кг). Через 5 минут аккуратно снимите утюг, а на его место поставьте что-нибудь холодное и тяжелое с ровной нижней поверхностью. Минут через десять конструкция окончательно остынет. Теперь нужно протравить стеклотекстолит с прилипшей к нему фольгой. Тонкая алюминиевая фольга стравливается в хлориде железа очень быстро, оставляя, правда, какие-то частички, которые мешают нормально травиться меди. Поэтому плату нужно промыть водой, заодно можно посмотреть на качество получившегося рисунка, и, если нужно, подретушировать. Если дорожки смазанные, значит, вы неаккуратно снимали утюг или ставили холодный груз. Если дорожки где-то отсутствуют, то утюг был недостаточно горячим или выделяющийся при травлении алюминия газ сорвал алюминий вместе с краской. Если дорожки стали широкими, значит, утюг перегрелся или вы очень долго грели плату.

После травления у вас получится односторонняя плата. Синхронизировать рисунок на обратной стороне платы достаточно трудно. Проще сделать две платы и склеить обратными сторонами. Достигается точность в 0,3 мм. Дорожки или пробелы между ними менее 0,3 мм получаются с трудом.

Второй метод. В качестве носителя используется *восковая бумага-подложка* от декоративных самоклеящихся пленок. Используя лазерный принтер, напечатайте рисунок на блестящем слое. Если плата двусторонняя, обе стороны должны быть на одном листе во избежание сильного рассогласования из-за разной термоусадки бумаги. Кстати, если перед печатью ее прогнать через принтер, то этот недостаток не будет заметен.

Обезжиренную плату положите медной фольгой вверх на ровную поверхность, а сверху – бумагу отпечатком вниз. Прижмите все это утюгом, разогретым до температуры глажения крепдешина, сначала через тонкую сухую хлопковую материю, а потом уже как можно аккуратнее приглаживайте бумагу до полного приставания тонера к плате. Когда плата остынет, ее нужно опустить в воду, нагретую до 40 °С, подержать там пару минут, пока бумага не размокнет так, чтобы ее легко было удалить. Если плата двусторонняя, то сначала нужно на просвет совместить обе бумажки и сделать два технологических отверстия. Первую сторону платы необходимо «прогладить» как обычно, потом просверлить тонким сверлом по технологическим отверстиям и с другой стороны по ним на просвет совместить с другой бумажкой, которую можно зафиксировать, а потом так же «пригладить», как и первую. Естественно, размачивать плату нужно тогда, когда обе стороны уже приглажены. Отслоения дорожек не будет. После травления нужно просверлить отверстия. Сверлить будет гораздо удобнее, если первоначально настроить программу OrCad таким образом, чтобы при печати внутри площадок оставались незакрашенные точки, которые с успехом заменят кернение. Вместо бумаги можно использовать *фторопластовую пленку.*

Третий метод. Используя лазерный принтер, на тонкой *мелованной бумаге* напечатайте зеркально перевернутый рисунок платы. При печати надо установить плотность тонера на максимум, его слой при этом должен легко прощупываться пальцем. Можно взять тонкие мелованные листы из иллюстрированных журналов – типографская краска не помешает. Следует отметить, что обычная бумага для этого способа не подходит.

Стеклотекстолит вырезается под размер платы с полями минимум по сантиметру с каждой стороны и зачищается мелкой шкуркой круговыми движениями. Главная задача – покрыть

всю поверхность меди микроцарапинами, чтобы она выглядела матовой. Плату нужно тщательно обезжирить очищенным бензином или ацетоном, а также удалить всю пыль, даже из царапин. Стеклотекстолит следует положить медной фольгой на тонер, бумагу обернуть вокруг платы и зафиксировать (чтобы не съехала при нагревании). Иногда полезно обернуть полученный «бутерброд» еще одним листом писчей бумаги, чтобы бумага с тонером не «поехала» под утюгом. На плату ставится горячий утюг (регулятор установлен на «лен») на 20–30 с, чтобы стеклотекстолит прогрелся. Потом ребром утюга с умеренным нажимом (в этом надо набить руку) несколько раз тщательно нужно прогладить всю поверхность. Если слишком сильно надавить утюгом, тонер растечется и рисунок получится размазанным, если недожать – тонер может не прилипнуть.

Как только плата остыла, положите ее в теплую воду на 20–30 мин, после чего размокшая бумага легко удаляется, оставляя тонер на плате, а меловой слой с бумаги – на тонере. Если бумага «раскисла» и оставила «лохмотья», их можно скатать подушечкой пальца под водой. Также бумагу можно удалить при помощи серной кислоты, однако при этом необходимо соблюдать особую осторожность.

Если тонер легко соскребается ногтем, значит, утюг был плохо прогрет или вы недостаточно на него нажимали при проглаживании. Меловой слой на поверхности тонера играет роль дополнительной маски, которая закрывает поры в тонере. Бумагу нужно удалить полностью, иначе она будет закрывать отверстия под последующее сверление. Сушится плата без нагрева, поскольку тонер может отвалиться, если мокрую плату сушить под лампой или на батарее. Непропечатанные дорожки подрисовываются несмываемым маркером или тушью. Если меловой слой где-то прикрыл отверстия (на сухой плате это хорошо видно), его можно аккуратно убрать иголкой.

Плата травится в подогретом растворе хлорида железа. Раствор должен быть концентрированным. Добиваться температуры выше 50 °С не нужно – уже при 40 °С на травление уходит всего несколько минут, а при более горячем растворе тонер может поплыть. Тереть плату ватным тампоном также нежелательно, лучше покачивать, но при этом надо следить, чтобы не образовывалось воздушных пузырьков на поверхности. После

травления тонер удаляется (можно использовать растворитель, жидкость для снятия косметического лака или аэрозоль Flux-Off). Дорожки менее 0,5 мм могут не отпечататься, лучше придерживаться ширины 0,8 мм.

3.2.3. Рисование печатных плат с помощью плоттера

Для рисования можно использовать *плоттерный рапидограф 0,3 мм* на скорости примерно 5–7 см/с. В качестве чернил лучше всего взять насыщенную спиртоканифоль. Чертежный узел плоттера необходимо избавить от пружины прижима, но при этом утяжелить, иначе процарапаются ранее нарисованные дорожки. Сначала плату следует обезжирить ацетоном, а потом спиртом. Наждачную шкурку лучше не применять. После нанесения рисунка надо дать плате просохнуть в течение одного часа. Для ускорения сушки можно использовать фен. Травить надо в вертикальной кювете 3×40×40 см горячим (около 50 °С) раствором хлорида железа. По дну кюветы проводится пластиковая трубка с несколькими мелкими отверстиями (можно использовать аквариумный компрессор). В нее подается воздух для перемешивания раствора. Время травления составляет 5–7 мин. Замечено, что, чем тоньше фольга на плате и чем концентрированнее раствор, тем лучше результат. Применение импортного стеклотекстолита предпочтительнее. Данный способ позволяет достичь разрешения выше 0,3 мм.

3.2.4. Использованне фоторезиста

При изготовлении печатных плат, как промышленном, так и самостоятельном, часто применяются светочувствительные лаки. Одним из лучших является *лак-фоторезист* POSITIV 20 фирмы KONTAKT CHEMIE.Он прост в применении, легко удаляется, высокочувствительный и относительно недорогой.

При работе с этим лаком изображение экспонируется с фотошаблона-позитива напрямую, без изготовления промежуточных негативов. Аэрозольной упаковки в 200 мл достаточно для покрытия 4 $м^2$ медной фольги.

Рассмотрим основные этапы изготовления печатной платы. Поверхность фольги, на которую будет нанесен фоторезист, должна быть абсолютно чистой и обезжиренной. После удаления окислов и загрязнений медь приобретает яркий розовый

цвет. Затем заготовка платы промывается в большом количестве воды для удаления остатков моющего состава и абразивных частиц. В дальнейшем рабочая поверхность заготовки уже не должна контактировать с другими растворителями (ацетон, спирт), ее нельзя касаться руками.

После промывки плата сушится теплым воздухом при помощи фена. Наносить лак нужно сразу после сушки, чтобы на фольге не успела образоваться оксидная пленка. POSITIV 20 не обязательно наносить в полной темноте – в жидком состоянии фоторезист малочувствителен к свету. Работу можно проводить при слабом освещении, исключая прямое попадание на поверхность заготовки солнечных лучей или яркого света. Важно также, чтобы на месте работы не было сквозняков и пыли.

Наносится фоторезист при комнатной температуре. Заготовка платы размещается на горизонтальной поверхности, лак распыляется из аэрозольной упаковки с расстояния примерно 20 см. Чтобы создать равномерное покрытие, распылять состав нужно непрерывными зигзагообразными движениями, начиная с верхнего левого угла. Не следует наносить слишком много аэрозоля, так как это приводит к образованию подтеков и неодинаковой толщине слоя, что потребует увеличения экспозиции.

Допустимо распылять аэрозоль с меньшего расстояния, это позволит сэкономить некоторое количество фоторезиста.

Толщину полученного слоя можно приблизительно оценить по его цвету – светлый оттенок стального цвета соответствует толщине 1–3 мкм, темный оттенок – 3–6 мкм, синий цвет – 6–8 мкм и темно-синий – более 8 мкм. На светлой меди цвет покрытия может иметь зеленоватый оттенок.

После распыления фоторезиста заготовка платы должна быть немедленно помещена для сушки в темное место. По мере просыхания фотолака степень светочувствительности покрытия, особенно к ультрафиолетовым лучам, возрастает. При комнатной температуре фотолак сохнет не менее суток. Для ускорения процесса можно использовать сушильный шкаф или термостат, но при этом необходимо убедиться в отсутствии подсветки снаружи и от нагревательного элемента. Поднимать температуру следует медленно. При 70 °C для сушки достаточно 20 мин. Нагревание заготовки выше 70 °C недопустимо, так как может

привести к порче фотослоя. Запас высушенных заготовок плат до экспонирования нужно хранить в темном, сухом и прохладном месте.

Оригинал изображения печатных проводников, используемый для переноса на фольгу, должен быть тщательно подготовлен и отретуширован, иначе все его недостатки отразятся на качестве копии. Важно, чтобы рисунок был контрастен, а темные участки полностью непрозрачны. Нельзя сгибать и складывать оригинал. Основа фотошаблона – пленка или бумага – должна пропускать ультрафиолетовые лучи, а краска – нет.

В некоторых журналах предлагаются чертежи печатных плат, специально предназначенные для описываемой технологии – обратная сторона таких чертежей оставлена чистой. После обработки страницы специальным аэрозолем TRANSPARENT 21 бумага становится прозрачной для ультрафиолетовых лучей, то есть пригодной для прямого копирования чертежа непосредственно со страницы на заготовку платы. Аэрозоль избавляет от утомительного копирования чертежей плат.

Полученный *фотошаблон* плотно прижимают к слою фоторезиста заготовки и интенсивно освещают. Время экспонирования зависит от толщины слоя фоторезиста на заготовке и силы света. Поскольку лак POSITIVE 20 чувствителен к ультрафиолетовым лучам, для экспонирования необходимо использовать ртутные или кварцевые лампы мощностью 300 Вт. Однако удовлетворительные результаты дает и обыкновенная лампа накаливания мощностью 200 Вт при расстоянии до платы примерно 12 см. До начала засветки лампа прогревается в течение 2–3 мин.

Время экспозиции ртутной лампой с расстояния 25–30 см обычно не превышает 1–2 мин. Разумеется, можно использовать и яркий солнечный свет, богатый ультрафиолетом (время экспозиции 5–10 мин). Прижимать фотошаблон к заготовке лучше листом органического стекла, так как обычное стекло поглощает до 65% ультрафиолета, что потребует соответствующего увеличения времени экспонирования.

Экспонированные заготовки можно *проявлять* при рассеянном дневном свете. Состав проявителя: 7 г порошковой каустической соды $NaOH$ (можно и гидрооксид калия KOH) на один литр холодной воды. Заготовку следует поместить в сосуд

с проявителем, причем раствор периодически помешивать. Для правильно экспонированного слоя фоторезиста толщиной 4–6 мкм время проявления в свежем растворе обычно не превышает 0,5–1 мин, максимальное – 2 мин. Температура проявителя должна быть в пределах 20–25 °С.

Проявитель полностью удаляет с заготовки фоторезист с засвеченных участков покрытия. Не следует держать заготовку в растворе дольше, чем нужно для проявления, иначе он начнет действовать и на незасвеченные участки. Если время экспонирования превысило допустимое или использовались прозрачные для ультрафиолета чернила, изображение токопроводящих дорожек появится на некоторое время, но затем будет удалено проявителем.

После извлечения заготовки из раствора необходимо тщательно ополоснуть ее в проточной холодной воде. После работы не забудьте вымыть с мылом руки.

Далее плата травится обычным способом. Слой лака-фоторезиста устойчив к кислотным растворам, содержащим хлорид железа (III) $FeCl_3$, персульфат аммония $(NH_4)_2S_2O_8$, соляную HCl и фтороводородную HF кислоты.

После окончания травления заготовка платы промывается мыльным раствором и очищается от остатков фоторезиста тканью, пропитанной любым органическим растворителем, например ацетоном.

3.2.5. Изготовление печатных плат методом сеткографнн

Для изготовления небольшой партии печатных плат в домашних условиях или ремонтных мастерских можно использовать метод *сеткографии*. Основным материалом служит ровная и прозрачная капроновая ткань (можно использовать кусок капронового чулка). Ткань следует обезжирить в содовом растворе, промыть, просушить и ровно натянуть на рамку из фанеры или органического стекла.

В темном помещении нужно изготовить светочувствительный состав: 8 г желатина залить 50 мл теплой воды и оставить набухать на 2–3 ч. Затем в водяной бане при температуре 40 °С распустить желатин до однородной сиропообразной массы.

Отдельно в 50 мл воды растворить 4 г дихромата аммония $(NH_4)_2Cr_2O_7$, и полученный раствор влить в желатиновый сироп.

После тщательного размешивания к образовавшейся массе добавить 15–20 капель 25-процентного раствора аммиака и 10 мл спирта-ректификата. Полученную эмульсию отстаивать в полной темноте 24 ч, а затем осторожно слить, оставляя на дне образовавшийся осадок.

На капроновую ткань эмульсию следует наносить в два слоя мягкой широкой кистью. Первый слой – вдоль одних волокон ткани, второй – вдоль других, перпендикулярных первым. Время высыхания первого слоя эмульсии 10 мин, второго – 12 ч. Оставшуюся эмульсию можно хранить в темноте до 10 дней и использовать для других целей.

Копирование производится с позитива контактным способом. Выдержка при экспонировании двумя электрическими лампами по 150 Вт с расстояния 50 см составляет 10–15 мин.

Рисунок нужно проявить в теплой воде при температуре 40 °С, покачивая сосуд. Во время проявления участки эмульсии, не освещенные при экспонировании, растворятся в воде. Затем рамку переносят в *дубящий раствор* (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Рецепт дубящего раствора

Состав	Количество, г/л
Квасцы хромовые $K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$	20
Двухромовокислый калий $K_2Cr_2O_7$	50
Спирт этиловый C_2H_5OH	20

Дубящий раствор готовят на дистиллированной воде (можно использовать конденсат из бытового холодильника). В этом растворе рамку выдерживают 2–3 мин, затем ополаскивают, опускают на 1–2 с в 1-процентный раствор метилвиолета и промывают. Время просыхания рисунка после обработки около 1 ч.

Поверхность фольгированного стеклотекстолита для печатной платы зашкуривают и обезжиривают. Рамку с рисунком плотно накладывают на фольгированный гетинакс и резиновым шпателем (ракелем) или кистью с коротким волосом средней жесткости сквозь сетку продавливают специальную краску (табл. 3.3). Рамку с сеткой осторожно снимают, и на фольге остается четкий рисунок будущего печатного монтажа, который припудривают тальком.

Таблица 3.3. Рецепт краски

Состав	Количество, %
Литопонная краска	75
Типографские белила (прозрачные)	20
Ультрамарин	5

Если нет возможности приготовить специальную краску, допускается использовать вязкий кислотоупорный лак (асфальтовый, асфальтобитумный и др.). Вязкость лака можно повысить, оставив его на 1–2 суток в широкой открытой посуде.

После высыхания краски плату травят в растворе хлорида железа (III). Сетку с рисунком промывают в керосине, протирают мягкой ветошью и сушат. Сетку хранят в закрытой коробке.

3.3. ХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

3.3.1. Основной раствор для травления

Основным материалом для травления фольгированных печатных плат является *раствор хлорида железа* (III) $FeCl_3$ с концентрацией 20–50%. Для его получения нужно насыпать в литровую банку 500 г порошка хлорида железа и залить теплой кипяченой водой до 1 л. Раствор хранят в обычной литровой стеклянной банке, а перед травлением подогревают до 45–60 °C, поставив банку в горячую воду.

Платы размером до 130×65 мм удобно травить в этой же банке, подвесив их на медном обмоточном проводе диаметром 0,5–0,6 мм. Платы больших размеров травятся в пластмассовой или стеклянной посуде, например фотографической кювете. Для этого в угловые крепежные отверстия платы вставляют обломки спичек, обеспечивающие зазор 5–10 мм между платой и дном кюветы. Продолжительность *травления* составляет 10–60 мин и зависит от температуры, концентрации раствора, а также толщины медной фольги. Чтобы процесс проходил интенсивнее, раствор перемешивают, покачивая банку или кювету. Поскольку жидкость быстро остывает, банку лучше поставить в другой сосуд бóльших габаритов с горячей водой. Воду желательно периодически подогревать или заменять более горячей.

При травлении образуются ядовитые испарения, поэтому работать следует в хорошо проветриваемом помещении, под

вытяжкой или на открытом воздухе. Периодически проверяйте состояние платы, приподнимая ее для осмотра деревянными или пластмассовыми палочками. Металлические инструменты и приспособления применять запрещено.

Убедившись в том, что фольга в незащищенных местах исчезла полностью, процесс травления прекращают. Далее плату переносят под струю проточной воды, тщательно промывают и сушат при комнатной температуре.

Совет. *Если вы собираетесь использовать раствор повторно, слейте его в плотно закрывающуюся посуду и храните в прохладном темном месте. Но учтите, что при повторном использовании его эффективность снижается.*

Протравленную плату тщательно отмывают от следов хлорида железа под струей горячей воды, скребком очищая ее от рисунка, сделанного нитрокраской. Затем плату сушат и рассверливают. Отверстия, в том числе и не имеющие контактной площадки, при необходимости раззенковывают. Плату зачищают мелкозернистой наждачной бумагой, протирают салфеткой, смоченной спиртом или ацетоном, а затем покрывают канифольным лаком (раствор канифоли в спирте).

Раствор хлорида железа можно изготовить самостоятельно, обработав железные опилки соляной кислотой. Для этого 25 весовых частей 10-процентной соляной кислоты HCl смешивают с одной весовой частью железных опилок. По окончании реакции получается светло-зеленый раствор, который, постояв еще несколько дней, приобретает желто-бурый оттенок. Смесь в плотно закрытой посуде выдерживается 5 суток в темном месте, после чего ее можно использовать. Переливая раствор в сосуд для травления, не взбалтывайте его – осадок должен остаться в той посуде, в которой готовился раствор.

Приготовить хлорид железа можно и посредством сложной химической реакции. Для этого порошок железного купороса ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) необходимо высыпать в фарфоровый тигель и прокалить на огне. Вода испаряется, и остается белая масса безводной соли сульфата железа $FeSO_4$. При дальнейшем нагревании (при температуре более 480 °C) масса разлагается

с выделением газообразных оксидов серы SO_3, которые образуют в воздухе пары серной кислоты. Поэтому подобную работу надо проводить под хорошей вытяжкой или на открытом воздухе. В процессе прокаливания необходимо дробить спекающуюся массу. Через некоторое время она превращается в тонкодисперсный порошок ржавчины довольно высокой чистоты. Хранить его следует в герметичной посуде, так как он очень гигроскопичен, из-за чего могут образовываться комки. Обрабатывая ржавчину соляной кислотой, получают хлорид железа.

Еще один доступный способ изготовления хлорида железа не требует дефицитных компонентов, но сам процесс занимает довольно много времени. Для этого необходимо взять только порошкообразный железный купорос и аптечный водный 10-процентный раствор хлорида кальция $CaCl_2$.

Сначала нужно повысить концентрацию раствора. Содержимое нескольких пузырьков хлорида кальция выливают в широкую эмалированную или стеклянную посуду, которую ставят на несколько дней в теплое место. Как только часть воды испарится и начнется выпадение бесцветных кристаллов, раствор готов. Если при интенсивном перемешивании выпавшие кристаллы снова не растворятся, следует добавить немного воды.

В другом сосуде растворяют железный купорос, постепенно доводя его концентрацию до максимальной. После чего примерно равные объемы обоих растворов сливают, постоянно перемешивая. Выпавший белый осадок гипса отфильтровывают и удаляют. Получается светло-зеленый раствор хлорида железа (II) $FeCl_2$, который оставляют в широкой открытой посуде на 5–10 дней. В результате окисления кислородом хлорид железа (II) превращается в хлорид железа (III) $FeCl_3$. Признаком готовности раствора является изменение его цвета от светло-зеленого к желто-бурому.

Совет. *Не допускайте попадания раствора хлорида железа на открытые части тела, а также на поверхность ванн и раковин, поскольку на последних могут остаться трудно смываемые желтые пятна.*

3.3.2. Восстановление раствора хлорида железа

Раствор хлорида железа можно использовать в течение нескольких лет. Однако в процессе травления печатных плат он постепенно теряет активность, и скорость травления уменьшается. Это объясняется тем, что раствор насыщается ионами меди Cu^{2+}. Обычно его выливают. Однако активность можно легко *восстановить*. Существует способ *регенерации* хлорида железа из отработанных растворов, что позволяет использовать состав многократно. Технология заключается в извлечении из отработанного раствора металлической меди Cu^0. Для этого можно задействовать стеклянную банку емкостью 0,5–0,8 л с полиэтиленовой крышкой. В крышке делают множество отверстий, в которые вставляют стальные гвозди такой длины, чтобы они доставали до дна банки. Расстояние между отверстиями и их размер зависят от диаметра гвоздей.

Отработанный раствор хлорида железа наливают в банку, закрывают ее крышкой с гвоздями и оставляют примерно на сутки. Через некоторое время излишек меди из раствора осядет на поверхности гвоздей и на дне сосуда. После этого раствор сливают в другую посуду, удаляют медь из банки, очищают гвозди, а затем помещают их в ванну и заливают этим же раствором. Так поступают несколько раз до полного извлечения меди из раствора. В результате выделяющаяся медь осаждается на поверхности гвоздей. Таким образом удается значительно продлить «жизнь» раствора хлорида железа.

Дополнительно *активизировать* полученный раствор хлорида железа можно следующим способом. В небольшом количестве воды растворяют одну таблетку гидроперита (концентрат пероксида водорода H_2O_2, продается в аптеках) и вливают в раствор хлорида железа, после чего банку вновь закрывают крышкой с чистыми, не покрытыми медью гвоздями. Под воздействием пероксида (перекиси) водорода двухвалентное железо окисляется до трехвалентного, которое переходит в раствор, а на гвоздях дополнительно оседает медь.

Совет. *Омедненные гвозди можно использовать по прямому назначению – покрытие предохранит их от коррозии.*

Регенерировать отработанный раствор хлорида железа можно и электролитическим способом. Хорошо отстоявшийся раствор осторожно сливают в новую посуду, отделяя от выпавшего осадка. Затем в сосуд устанавливают два электрода произвольной формы – медный анод и железный катод. Электроды подключают к источнику напряжения, регулируемого в пределах 9–15 В. Ток устанавливают таким, чтобы на аноде интенсивно выделялась медь, катод при этом будет разрушаться, насыщая раствор ионами железа.

Когда выделение меди на аноде замедлится, процесс можно остановить. Окончание регенерации раствора можно также определить по результату простого опыта: в сосуд с раствором на короткое время (около 20 с) помещают железный предмет, например обычный гвоздь. Если на нем осела медь, то процесс восстановления следует продлить.

Для компенсации недостатка хлора в раствор добавляют поваренную соль (четыре столовых ложки на литр). После этого он снова готов к использованию. Качество восстановленного раствора проверяют пробным травлением небольшого образца фольгированного текстолита.

3.3.3. Другие растворы для травления

Растворы для травления плат можно приготовить не только на основе хлорида железа. Для многих радиолюбителей более доступен водный раствор медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и поваренной соли NaCl. Приготовить его нетрудно – растворите в 500 мл горячей воды (около 80 °С) 4 столовые ложки поваренной соли и 2 столовые ложки растолченного в порошок медного купороса. Раствор приобретает темно-зеленую окраску. Его хватает для снятия 200 см² фольги. Если раствор применять сразу, его эффективность будет невысокой, однако она значительно увеличится после выдержки раствора в течение двух-трех недель. Время травления платы в таком растворе составляет три часа и более. Если рисунок печатной платы выполнен теплостойкой краской или лаком, температуру раствора можно

довести примерно до 50 °С, и тогда интенсивность травления возрастает.

Значительного сокращения времени травления можно добиться, используя растворы на основе *кислот*. Например, процесс травления платы в концентрированном растворе азотной кислоты HNO_3 длится всего 5–7 мин. После этого необходимо тщательно промыть плату водой с мылом.

Хорошие результаты дает применение раствора соляной кислоты HCl и пероксида водорода H_2O_2. Для его приготовления возьмите 1 (объемную) часть 38-процентной соляной кислоты (плотностью 1,19 г/см^3), 1 часть 30-процентного пероксида водорода и 3 части воды. Если пероксид водорода имеет концентрацию 16–18%, то на 1 массовую часть кислоты берут 2 части пероксида и столько же воды. Сначала смешайте воду с пероксидом водорода, затем осторожно добавьте кислоту. Рисунок в этом случае наносится кислотостойкой нитроэмалью или нитролаком. Время травления составит около пяти минут. А если количество воды уменьшить, то можно сократить время травления до 1–2 мин (правда, если лак не очень хорошего качества, он будет отслаиваться вместе с медной подложкой). Такой же раствор можно приготовить, растворив в стакане холодной воды 4–6 таблеток пероксида водорода и осторожно добавив 15–25 мл концентрированной серной кислоты. Для нанесения рисунка печатной платы на фольгированный материал можно пользоваться клеем БФ-2. Время травления в данном случае составит приблизительно 1 ч.

В 1 л горячей воды (60–70 °С) растворяют 350 г хромового ангидрида CrO_3, затем добавляют 50 г поваренной соли. После того как раствор остынет, приступают к травлению. Время травления составляет 20–60 мин. Если в раствор добавить 50 г концентрированной серной кислоты, то травление будет более интенсивным.

Совет. *Растворы на основе кислот заливайте в стеклянную или керамическую посуду и работайте с ними только в хорошо проветриваемых помещениях.*

Травильные составы на основе *щелочи* растворяют нелуженую медь, практически не затрагивая луженые дорожки.

В табл. 3.4 приведены наиболее часто применяемые промышленно-лабораторные рецепты.

Таблица 3.4. Рецепты щелочных растворов для травления

Состав раствора	Количество, г/л
Первый состав	
Медный купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	170–190
Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$	150–170
Аммиак водный, 25-процентный раствор NH_4OH	400–500
Второй состав	
Хлорид меди (II) $CuCl_2$	100–110
Хлорид аммония NH_4Cl	150–170
Аммиак водный, 25-процентный раствор NH_4OH	400–500
Бикарбонат аммония $(NH_4)_2CO_3$	20–30

Особый интерес представляет способ гальванического травления плат. Для этого потребуется источник постоянного напряжения 25–30 В и концентрированный раствор поваренной соли. При помощи зажима «крокодил» соедините положительный полюс источника с незакрашенными участками фольги платы, а к оголенному и свернутому в петлю концу провода, идущего от отрицательного полюса источника, прикрепите ватный тампон, обильно смоченный раствором соли. Слегка прижимая к фольге, перемещайте его по поверхности платы (движение должно напоминать вырисовывание цифры 8). Фольга будет смываться. Меняйте тампон по мере загрязнения.

3.3.4. Электролитический способ изготовления печатных плат с металлизацией отверстий

На изоляционной нефольгированной плате (обычно из стеклотекстолита или гетинакса) размечают отверстия, которые зенкуют с обеих сторон. Поверхность пластины обрабатывают шкуркой (вначале крупной, а затем мелкой), чтобы она стала матовой. Затем пластину обезжиривают бензином (отверстия и зенковки промывают с помощью кисточки). Плату после такой обработки можно брать руками только за края, чтобы на плоскостях не оставалось следов жира. Токопроводящие дорожки вычерчивают на поверхности платы 10–20-процентным раствором нитрата серебра $AgNO_3$ (ляписа) с помощью стеклянного рейсфедера. Если раствор плохо смачивает поверхность, нужно повторить

обезжиривание. Отверстия и зенковки также покрывают раствором ляписа с помощью маленькой кисточки.

Панель после нанесения линий сушат на свету при температуре 40–60 °С в течение 5–10 мин (можно использовать настольную лампу мощностью 75–100 Вт). Нитрат серебра разлагается на окись серебра Ag_2O и металлическое серебро Ag^0. Затем пластину погружают в раствор, и на местах, покрытых нитратом серебра, через 45–60 мин осаждается слой меди Cu^0 телесного цвета толщиной 1,5–2 мкм. В табл. 3.5 приводится рецепт раствора для химического меднения.

Таблица 3.5. Раствор для химического меднения

Состав раствора	Количество
Сульфат меди (медный купорос) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	2 г
Гидрооксид натрия (едкий натр) NaOH	4 г
Нашатырный спирт 25-процентный	1 мл
Глицерин	3,5 мл
Формалин* 10-процентный	8–15 мл
Вода	100 мл

Примечание к табл. * Формалин – это 40-процентный водный раствор формальдегида.

После осаждения меди пластину промывают и сушат. Слой меди получается очень тонким. Его толщину необходимо увеличить до 50 мкм гальваническим способом. Перед погружением в ванну все отверстия в платах соединяют друг с другом голой медной проволокой. Дефекты (разрыв токопроводящих дорожек, щербины на проводниках и т.д.) исправляют мягким графитовым карандашом перед погружением пластины в ванну. Затем плату подсоединяют к минусу источника тока. Анодом в ванне служит лист меди, а в качестве электролита применяется раствор, состав которого приведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Раствор электролита

Состав раствора	Количество
Сульфат меди (медный купорос) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	20 г
Серная кислота H_2SO_4	5 мл
Вода	100 мл

Гальванический процесс в ванне продолжается 1–2 ч при плотности тока 2–3 А/дм^2. Затем плату промывают и сушат.

Совет. *При составлении раствора во избежание ожогов серную кислоту нужно вливать в воду, а не наоборот.*

Следует помнить, что плата и детали, на которые осаждается металл, должны быть тщательно обезжирены (чтобы на них не оставалось следов пальцев и жирных пятен). Для устранения жирных пятен изделие погружают на 1–2 с в раствор хлорида олова (II) $SnCl_2$ (5 г соли на 1 л воды), затем промывают в проточной воде и немедленно погружают в ванну для осаждения металла.

После сушки плату сразу же покрывают защитным *флюсующим лаком* (15-процентным раствором канифоли в этиловом спирте) для защиты проводников от коррозии и облегчения пайки навесных радиоэлементов. Хорошим защитным лаком является и 15-процентный раствор смолы ПН-9 в ацетоне.

На этом процесс изготовления печатной платы химическим способом можно считать завершенным.

3.4. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Существуют две разновидности этого способа изготовления печатных плат: удаление фольги с пробельных мест путем *фрезеровки* и срезание или соскабливание фольги ножом или резаком.

3.4.1. Фрезерование

На фольгированный гетинакс наносят рисунок печатного монтажа (см. рис. 3.6б). Причем ширина пробельных участков должна равняться диаметру бора. Металлическую фольгу с пробельных участков удаляют фрезой (зубным бором), закрепленной в патроне на оси электромотора (рис. 3.9).

После фрезерования плату шлифуют мелкой шкуркой, сверлят в ней отверстия и обрезают.

3.4.2. Вырезание фольги

Это, пожалуй, самый простой способ изготовления печатного монтажа, не требующий практически никакой оснастки. Из материалов необходим только фольгированный стеклотекстолит или гетинакс.

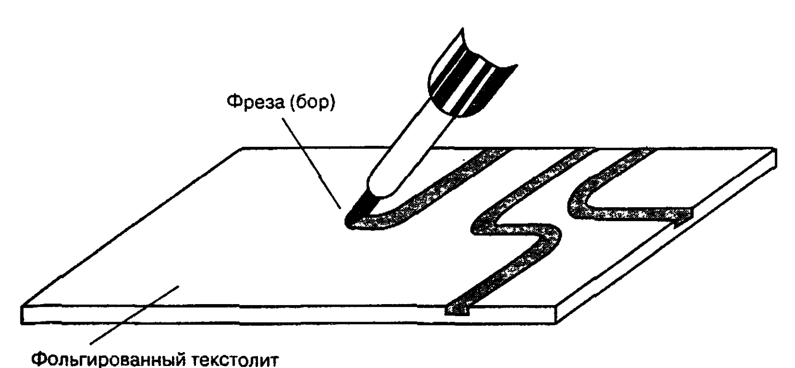


Рис. 3.9. Изготовление печатной платы методом гравировки

Как и в ранее описанном способе, на плату наносят рисунок печатного монтажа и по контуру пробельных участков острым ножом по линейке прорезают фольгу. Затем край фольги ножом отделяют от текстолита и отрывают вдоль разрезов (рис. 3.10).

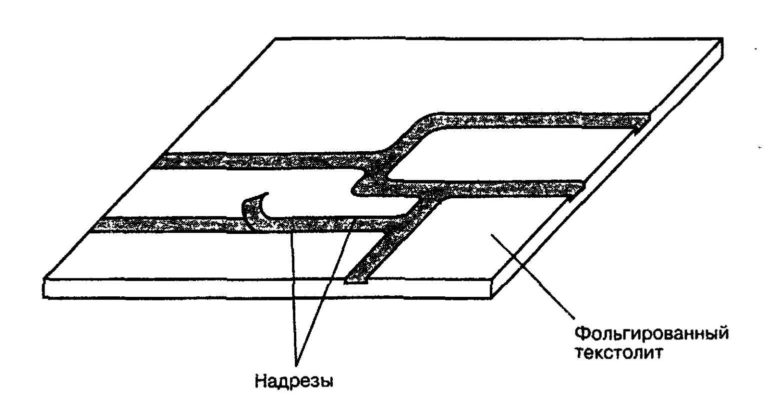


Рис. 3.10. Изготовление печатной платы путем вырезания фольги

Чтобы нож не соскальзывал и не прорезал схему, на линейку устанавливают металлический ограничитель (рис. 3.11).

На линейке ставят черточку, показывающую, до какого места доходит режущий конец ножа, когда он упирается в ограничитель. Ее кладут таким образом, чтобы риска показывала конец разреза, который делается в фольге.

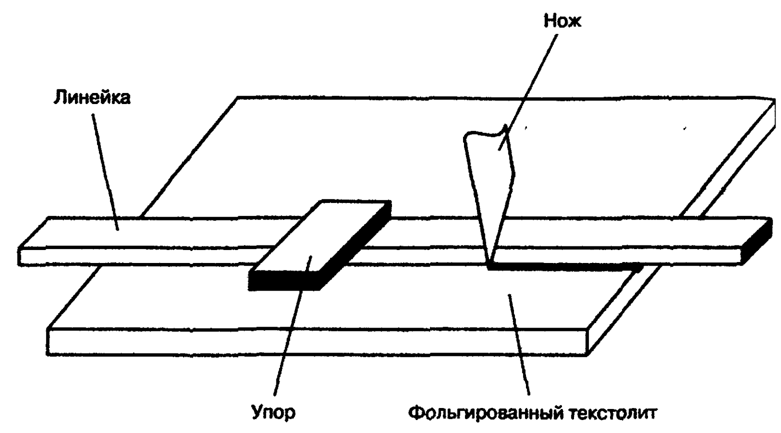


Рис. 3.11. Линейка с упором для надрезания фольги

Как показывает практика, для формирования на печатной плате узлов, требующих большой точности изготовления (полосковых линий, емкостных и индуктивных элементов и т.п.), традиционные способы – нанесение рисунка краской с последующим травлением или прорезание фольги резаком – оказываются малопригодными. Можно использовать другой метод, дающий хорошие результаты, особенно при большой плотности монтажа.

Очищенную и обезжиренную поверхность платы покройте слоем клея БФ-2, предварительно разбавленного спиртом или растворителем и подкрашенного пастой от шариковой авторучки. После подсушки в течение 2–3 ч тонким ножом с острым концом вырежьте по металлической линейке требуемый рисунок проводников. С тех участков, где фольга должна быть удалена, слой клея снимите пинцетом, подцепляя с краев острием ножа. Далее, как обычно, травите плату в растворе хлорида железа.

3.5. СПОСОБ ПЕРЕНОСА

Для работы потребуется следующие материалы: гетинакс толщиной 1–2 мм, медная фольга толщиной 0,05–0,06 мм, клей БФ-2, клей конторский универсальный казеиновый, миллиметровая бумага, пергамент (калька), копировальная и писчая бумага. Из приспособлений понадобятся только две металлические пластины, между которыми зажимается плата при наклейке печатной схемы.

Под миллиметровую бумагу, на которой вычерчен в натуральную величину печатный монтаж, подкладывают последовательно копировальную бумагу, карандашную кальку, фольгу и, наконец, какую-либо подложку, например несколько листов бумаги или картон. Все листы скрепляют по краям, после чего полученную пачку кладут на ровный металлический лист или стекло и остро заточенным твердым карандашом тщательно обводят контуры проводников печатного монтажа. После снятия скрепок получают пергамент, на котором будет виден четкий рисунок. Такой же рисунок виден и на фольге.

Перед нанесением рисунка фольгу надо обработать с одной стороны шлифовальной шкуркой, чтобы она лучше приклеивалась к гетинаксу. При копировании фольгу кладут шероховатой стороной вниз. Из нее по контурам печатного монтажа ножницами вырезают проводники и приклеивают их глянцевой стороной к пергаменту при помощи казеинового клея (рис. 3.12).

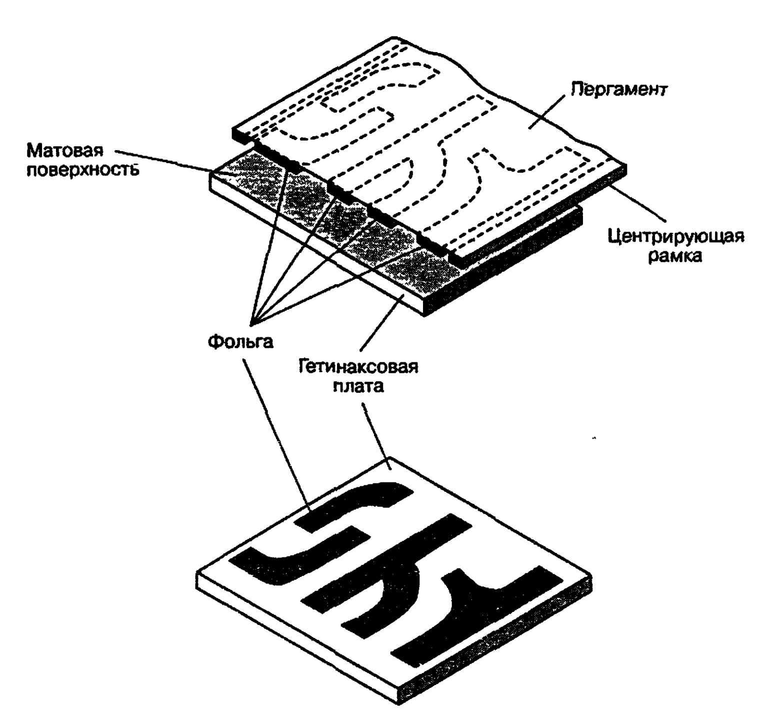


Рис. 3.12. Способ переноса (наклейка печатных проводников на плату)

Клей следует наносить тонким равномерным слоем, а при наклейке проводников следить за точным совмещением их контуров с рисунком на пергаменте. Чтобы точно расположить проводники относительно краев гетинаксовой платы, на пергамент наклеивают центрирующую рамку. Схему наклеивают на гетинаксовую плату сразу же после того, как проводники схемы смонтированы на пергаменте; если клей высохнет, проводники могут отделиться от пергамента. Плату обрезают так, чтобы она точно входила внутрь наклеенной на пергамент центрирующей рамки. Сторону гетинаксовой платы, где будут наклеены проводники, обрабатывают шлифовальной шкуркой.

Проводники, смонтированные на пергаменте, а также гетинаксовую плату обезжиривают ацетоном или растворителем. После этого обе склеиваемые поверхности (проводники и гетинаксовую плату) покрывают тонким слоем клея БФ-2, которому дают подсохнуть в течение 10–20 мин. Затем на поверхность проводников кисточкой вторично наносят слой клея и на смазанный им печатный монтаж кладут гетинаксовую плату шероховатой стороной вниз. Весь пакет зажимают между двумя металлическими пластинами, которые стягивают винтами, и оставляют в таком виде на час (температура должна быть комнатной). После этого пакет нагревают до 120 °С и выдерживают при этой температуре 3 ч. Если печатная плата небольшого размера, то нагревать ее можно с помощью электрического утюга с терморегулятором, предварительно прикрепив пакет к гладильной доске.

После остывания пакет разбирают и острым скальпелем или ножом соскабливают приклеенный к плате пергамент. Для ускорения процесса подложку увлажняют горячей водой. Когда весь пергамент будет удален, плату шлифуют мелкой шкуркой и промывают растворителем. Затем в ней сверлят отверстия для крепления деталей. Необходимо следить за тем, чтобы они находились в центре контактных площадок.

3.6. БУМАЖНЫЕ МОНТАЖНЫЕ ПЛАТЫ

Этот способ монтажа также называют «прошивкой». Проводником служит тонкий медный провод, а инструментом – обычная толстая швейная игла. «Плата» представляет собой пакет из перемежающихся слоев бумаги и полиэтиленовой пленки.

Вместо бумаги можно также использовать тонкую ткань (например, сатин или ситец). Проводники располагаются между слоями бумаги, на поверхность выходят только контактные площадки-петли для припайки выводов деталей (рис. 3.13).

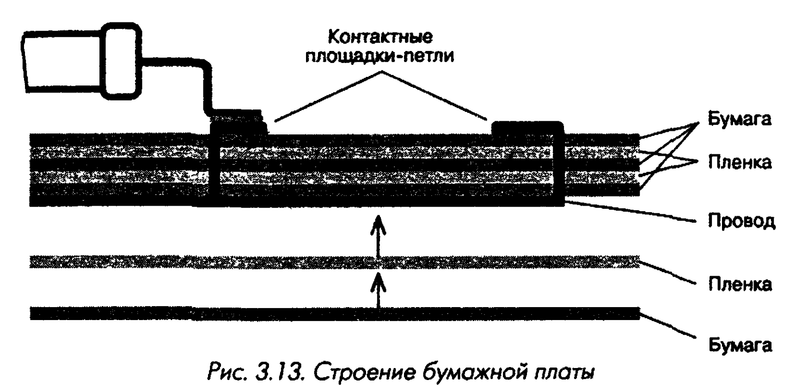


Рис. 3.13. Строение бумажной платы

На листе миллиметровой бумаги рисуют контуры элементов проектируемого устройства в натуральную величину, их обозначение и тип, расположение выводов и контактные площадки. Затем в соответствии со схемой соединяют площадки между собой. Линии соединения могут пересекаться, иными словами, допускается расположить их в несколько слоев, используя для этого цветные карандаши. По окончании работы получают карту прошивки.

Теперь можно приступать к изготовлению самой «платы». На лист плотной бумаги в масштабе 1:1 переносят рисунок расположения элементов, но без линий проводников. Лист переворачивают рисунком вниз, накладывают слой полиэтиленовой пленки, сверху еще лист бумаги и проглаживают горячим утюгом так, чтобы листы бумаги склеились. Затем сверху наносят еще один слой полиэтиленовой пленки и лист бумаги и снова проглаживают утюгом. Обычно для первого этапа бывает достаточно четырех слоев бумаги, склеенных пленкой.

Далее выполняют прошивку первого слоя монтажа платы. Отрезок медного провода (лучше ПЭВТЛК или подобный) продевают на 10–15 мм в ушко иглы, подгибают и прокладывают согласно карте прошивки все проводники первого слоя и

контактные площадки-петли, не обрезая проволоки. Затем со стороны деталей петли зачищают и облуживают.

Совет. *Для прошивки удобно использовать медицинскую иглу, укоротив ее до 10–15 мм. Конец иглы стачивают под углом 45°, а острые кромки сглаживают. В канал иглы пропускают медную проволоку и вытягивают ее на несколько сантиметров. Прошивку выполняют со стороны выводов.*

Плату переворачивают обратной стороной и кусачками удаляют ненужные отрезки проволоки, оставляя только проводники первого слоя. На них накладывают пленку и лист бумаги и снова проглаживают утюгом. После этого выполняют прошивку второго слоя. Так поэтапно изготавливают весь многослойный монтаж. Для нормальной жесткости платы необходимо 8–10 слоев бумаги. На рис. 3.14 показана плата со стороны деталей.

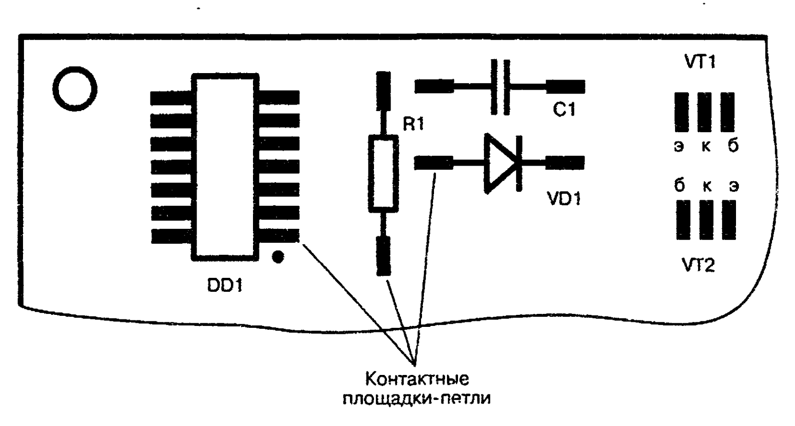


Рис. 3.14. Вид платы со стороны деталей

Соседние контактные площадки обычно соединяют по кратчайшему пути, а если необходимо изменить направление проводника, в месте изгиба образуют небольшую петлю на лицевую сторону платы (точка 1 на рис. 3.15).

Для длинных проводников, чтобы они не провисали, также целесообразно выполнить одну-две петли (точки 2 на рис. 3.15).

Это избавит от возможных замыканий при прошивке последующих слоев.

Проводники одного слоя также можно взаимно пересекать, нужно только у одного из них выполнить петлю (точка 3 на рис. 3.15). Лучше всего использовать неизолированный провод. Его толщину следует выбирать, исходя из величины тока через самую нагруженную цепь.

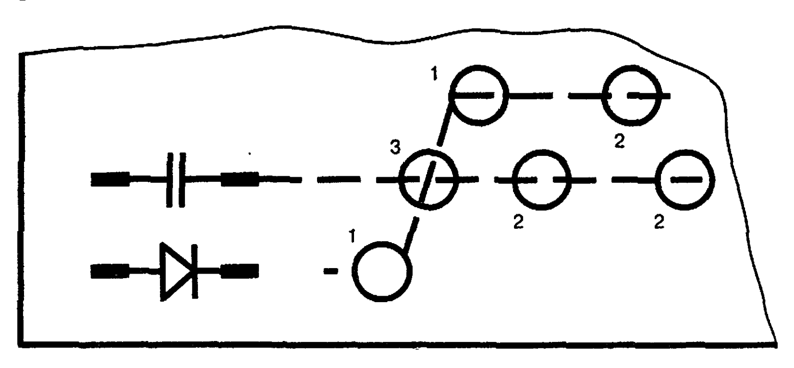


Рис. 3.15. Прошивка бумажной платы

Подобным способом можно выполнить монтаж схемы на листе резины или другом подходящем изоляционном материале. После прошивки такую плату для жесткости наклеивают на текстолит или гетинакс.

3.7. МАКЕТНЫЕ ПЛАТЫ

Для каждой новой схемы, даже самой простой, приходится каждый раз делать рисунок на фольгированном диэлектрике. В этом заключается основная трудность производства печатных плат, если необходимо в короткие сроки проверить работоспособность новой схемы или наладить ее. Ведь, как правило, полупроводниковые приборы различаются по своим параметрам, поэтому для установки режима каскадов схемы приходится подбирать номиналы пассивных элементов, в частности резисторов. Для черновой или экспериментальной сборки схем и налаживания несложных электронных устройств удобно использовать специальные *макетные платы*. Их, конечно, можно купить в радиомагазине, но несложно изготовить и самостоятельно.

3.7.1. Простая макетная плата

Предлагаемая макетная плата представляет собой стенд с контактными площадками. На нем можно спаять детали проверяемого устройства и подобрать режимы работы.

Плата изготавливается из текстолита, гетинакса или другого изоляционного материала толщиной 2–3 мм. На ней располагаются контактные площадки, шины питания и зажимы для подачи напряжения (рис. 3.16).

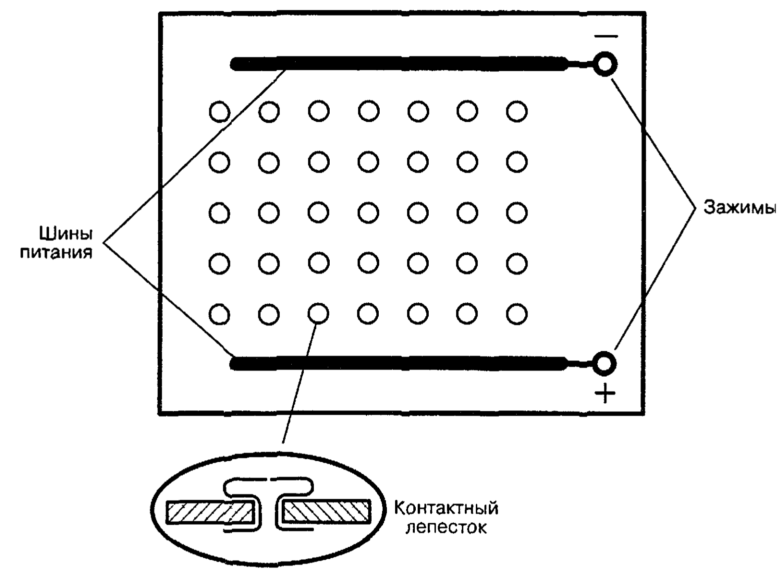


Рис. 3.16. Макетная плата

Контактные лепестки можно сделать из жестяных полосок от консервной банки. Они устанавливаются в отверстия на стенде и закрепляются. С лицевой стороны контактные площадки обязательно облуживаются. В верхнем и нижнем ряду размещаются шины питания, которые изготавливаются из толстой луженой медной проволоки или полосы шириной 3–5 мм. Шины соединены с зажимами для подачи напряжения. При необходимости можно дополнительно установить выключатель питания.

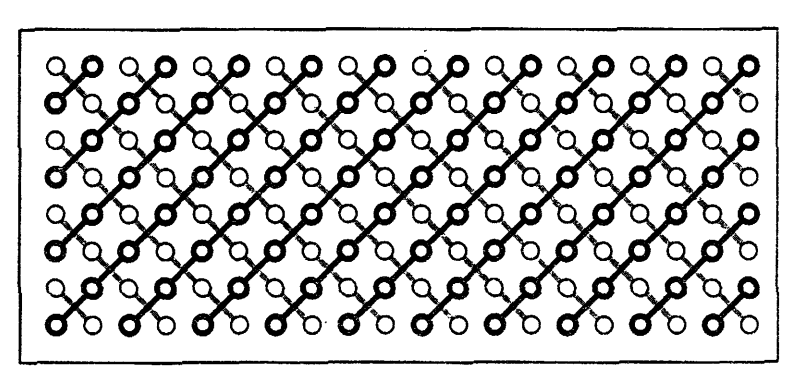
Для удобства работы макетную плату устанавливают наклонно к поверхности стола, используя стойки. Монтаж производится

в соответствии со схемой; выводы деталей при этом не укорачиваются.

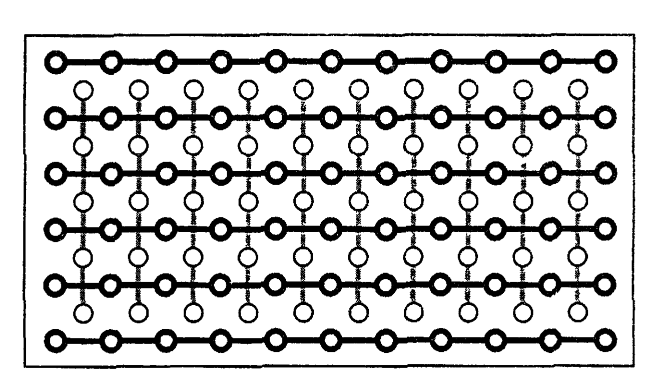
3.7.2. Печатная макетная плата

Описываемая печатная макетная плата очень удобна и для мелкосерийного производства, например 10–20 устройств или приборов. Так на плате (рис. 3.17а) можно смонтировать любую схему, главное, чтобы хватило места для деталей. А если его недостаточно, размеры платы можно увеличить.

Технология изготовления печатных плат такова. На фольгированный диэлектрик наносят координатную сетку. Для этого



а)



б)

Рис. 3.17. Печатная макетная плата

необходима линейка, угольник и карандаш. Линии проводят под углом 45° к основанию. На рис. 3.17 дорожки с лицевой стороны платы показаны черным цветом, а с обратной – серым. Затем, отступая от карандашных линий в обе стороны на ширину токопроводящей дорожки, ножом по линейке прорезают фольгу и удаляют ненужные участки. Тонким сверлом проделывают отверстия под выводы радиоэлементов. Расстояние между ними выбирают 2,5 мм или кратное данному значению. При необходимости можно соединить определенные дорожки обеих сторон платы либо пайкой, либо контактными перемычками из луженой проволоки. Плата готова. Выгода этого метода очевидна – вся работа проводится ножом, а однотипность печати позволяет использовать плату для любых устройств, особенно в малых сериях. Если позволяет время, то такую плату можно сделать, используя традиционное травление.

Описанная технология позволяет изготовить плату с несколько другим расположением дорожек (рис. 3.17б). Выбирайте то, что вам больше нравится.

Для установки микросхем необходимо использовать универсальные печатные платы (рис. 3.18). Для удобства изготовления на рисунке показана сетка с шагом 2,5 мм. На таких платах можно устанавливать ИС в корпусах типа DIP (на 6, 8, 14, 16, 18, 20, 22, 24 и 32 вывода). Монтажную плату для установки

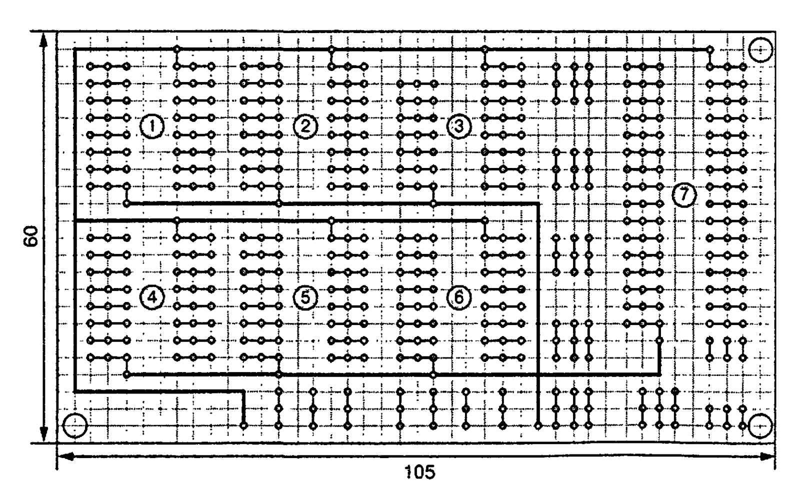


Рис. 3.18. Универсальная печатная плата

микросхем в других корпусах (типа SO, FLAT и других) можно разработать и изготовить аналогичным образом.

3.7.3. Макетная плата из резины

Хорошие диэлектрические качества и эластичность листовой *резины* позволяют использовать ее в качестве макетной платы. Лист резины размерами 150×150 мм толщиной не менее 3 мм укрепляют с небольшим натяжением на деревянной рамке. Выводы деталей изгибают под прямым углом так же, как и для монтажа на обычную печатную плату.

Припаивать детали при этом нет необходимости. Толстой иглой или шилом в резине прокалывают отверстия, в которые вставляют выводы деталей, смежных по схеме. Несколько выводов, помещенных в одно отверстие, упруго сжимаются резиной, что обеспечивает надежный электрический контакт. Окисленные выводы следует зачистить, а их концы целесообразно слегка заострить надфилем.

Соединительные перемычки выполняют из медного неизолированного жесткого провода диаметром 0,4–0,5 мм. Желательно использовать белую резину, так как она в меньшей степени портит покрытие выводов.

Преимущества резиновой макетной платы заключаются в ее доступности, простоте изготовления, а также возможности быстро заменить детали при налаживании собранного устройства. Использование подобной платы будет наиболее интересно начинающим радиолюбителям.

3.8. ВТОРАЯ ЖИЗНЬ СТАРЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Обычно старые печатные стеклотекстолитовые платы после демонтажа деталей выбрасывают. Между тем они могут служить прекрасным материалом для изготовления множества различных деталей, корпусов для небольших приборов, кронштейнов, стоек, перегородок, сборно-разборных каркасов трансформаторов, крышек отсеков питания, изолирующих шайб, прокладок и т.д. В зависимости от того, как будет использоваться отработанный стеклотекстолит, следует решить, нужно ли удалять с него фольгу. Удобнее всего снимать ее с помощью раствора хлорида железа или соляной кислоты. Для изготовления каркаса трансформатора многослойная плата не годится, поскольку

удалить фольгу из ее внутренних слоев не удастся, и она может создать в трансформаторе замкнутые витки.

Если нужна заготовка без отверстий, то их зашпаклевывают эпоксидным клеем. Значительные по площади участки с нетронутой фольгой на старой плате следует вырезать, так как они могут пригодиться для изготовления мелких плат. Толстые пластины можно склеить из нескольких тонких плат тем же эпоксидным клеем. Иногда удается расслоить пластину из толстого текстолита на несколько тонких.

Все возможности использования старых плат перечислить трудно. Каждый радиолюбитель, без сомнения, справится с этой задачей по своему усмотрению.

Совет. *Обработку стеклотекстолита следует проводить очень осторожно – ведь при этом образуется много пыли, содержащей мелкие частицы стекла и эпоксидного компаунда, вредные для здоровья. Поэтому работать надо в хорошо проветриваемом помещении, чаще убирать пыль, стружки и обрезки материала.*

4 МОНТАЖ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

4.1. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И МОНТАЖА

В одном разделе невозможно рассказать о всех нюансах данной работы, однако наиболее важные правила необходимо знать, перед тем как приступать к изготовлению любой радиотехнической конструкции. Это позволит сэкономить время и деньги при настройке.

4.1.1. Лужение печатной платы

Для удобства монтажа печатные платы рекомендуется *лудить*, предварительно подготовив их для этой операции. Закончив травление, защитную краску с платы надо удалить растворителем, плату промыть в теплой воде и высушить. Далее необходимо мягкой кистью нанести на печатные дорожки раствор лимонной кислоты (2 объемные части порошка и 1 часть воды).

Примерно через полминуты нужно протереть плату ватным тампоном и дать ей высохнуть. После такой обработки поверхность фольги легко облуживается. Этим же раствором удобно пользоваться и при облуживании окисленных выводов радиодеталей.

Для очистки платы можно использовать любые *растворители* на основе спирта, бензина или ацетона. Неплохо зарекомендовало себя средство для мытья посуды. Оно надежно очищает дорожки и от следов жира, и от оксидов. При этом не приходится вдыхать вредные испарения ацетона или бензина.

Самый простой способ лужения – это погружение платы в расплавленный припой (*расплав*). Небольшая ванна для лужения выводов деталей уже рассматривалась в главе 2. Для работы с печатными платами требуется *лудильная ванна* больших размеров. В простейшем случае она состоит из нагревателя (например, электроплитка мощностью 500 Вт) и установленной на нем металлической ванны подходящих размеров (рис. 4.1), в которой находится *сплав Розе*. Разумеется, если позволяют средства, в радиомагазине можно приобрести промышленно изготовленную лудильную ванну.

Температура расплава должна составлять 120–140 °С. Чтобы предупредить окисление и появление шлаковой пленки на его поверхности, расплав заливают химически чистым глицерином слоем в 20–25 мм.

Лужение рекомендуется проводить следующим образом. Щипцами с длинными ручками захватывают плату с печатным

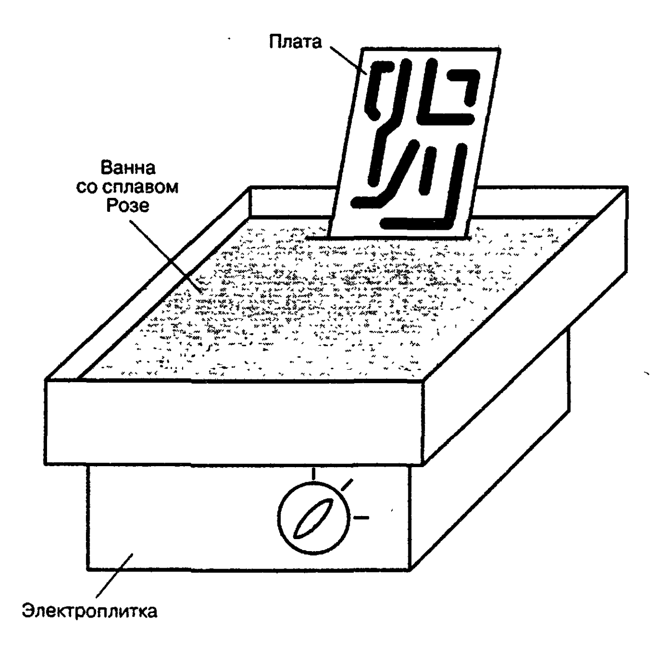


Рис. 4.1. Установка для лужения печатных плат

монтажом и *декапируют*[1] в 5-процентном растворе соляной кислоты, затем промывают 2–3 с в проточной воде и опускают на 1–2 с в сплав Розе. Излишки расплава с печатной платы удаляют с помощью *ракеля*[2] из вакуумной резины. После этого плата готова для сборки и монтажа навесных элементов.

Установка для лужения должна быть обеспечена вытяжной вентиляцией. Для поддержания стабильной температуры расплава в ванне можно использовать любое автоматическое устройство с точностью не хуже ±10%.

[1] От франц. *decaper* – очищать металлы, то есть удалять химическим или электрохимическим способом тончайшие пленки оксидов, образующиеся на поверхности металлических изделий при хранении или транспортировке. Проводится, например, перед пассивированием, оксидированием, нанесением гальванических покрытий.

[2] От нем. *racel* (в полиграфии) – тонкая пластина в виде ножа, с помощью которой при печатании удаляется избыток краски с поверхности формы глубокой печати или продавливается краска через отверстия трафаретной печатной формы. В рассматриваемом случае служит для удаления расплавленного припоя.

Если у вас нет лудильной ванны, можно облудить все проводники платы припоем ПОС-61 с использованием жидкого спиртоканифольного флюса. Следует помнить, что такие платы выглядят весьма кустарно; кроме того, при лужении возможно замыкание соседних проводников перемычками из припоя. Чтобы повысить качество пайки, плату можно слегка зачистить мелкой шкуркой. Однако не слишком усердствуйте, уменьшая и без того тонкий слой фольги. Если же вы все-таки решили лудить проводники, то прикосновения паяльника должны быть легкими и недолгими, иначе медная фольга дорожек начнет отслаиваться. Остатки канифоли после лужения удаляются с платы ацетоном или спиртом.

4.1.2. Применение двусторонних плат

Многие радиолюбители собирают свои конструкции на платах из *двустороннего* фольгированного стеклотекстолита. Одна сторона платы обычно служит для формирования печатных проводников, а другая используется в качестве экрана. В ряде случаев такой подход оправдан специальными требованиями к любительской конструкции, но в какой-то мере расточителен.

Преимуществ же монтажа на обеих сторонах платы немало: во-первых, максимально используется вся ее площадь, во-вторых, не нужно сверлить отверстия под выводы (пайка ведется «внакладку»), в-третьих, отпадает проблема демонтажа многовыводных деталей из отверстий. Очень удобно собирать устройства, состоящие из двух одинаковых каналов (например, стереоусилитель), расположив каждый из них на своей стороне платы – ее размеры при этом будут минимальными.

Если собранную конструкцию не предполагается ремонтировать, ее можно залить эпоксидной смолой, защитив тем самым от внешних атмосферных воздействий. Предлагаемый метод монтажа обеспечивает наиболее полное использование поверхности печатной платы и выгодное соотношение ее габаритных размеров.

Следует отметить, что в ряде случаев необходимо корректировать рисунок печатных проводников, если он рассчитан на традиционный способ монтажа. В предыдущей главе уже рассматривались преимущества и недостатки двусторонних печатных плат. Поэтому, приступая к сборке подобной конструкции, тщательно взвесьте все «за» и «против».

4.1.3. Защита полупроводниковых приборов от статического электричества

Чтобы повысить *надежность* радиоэлектронной аппаратуры, необходимо защищать полупроводниковые приборы от разрядов статического электричества, которое образуется в результате трения, дробления и других процессов. Его возникновению способствует одежда из синтетических тканей, резиновая обувь, полы, покрытые линолеумом, тара из органического стекла, а также низкая относительная влажность воздуха в помещении (менее 40%).

Сбои в работе полупроводниковых приборов из-за разрядов статического электричества могут произойти в процессе изготовления, хранения и транспортировки, а также при настройке, ремонте и монтаже радиоэлектронной аппаратуры. Это необходимо знать всем радиолюбителям.

Наиболее часто происходят отказы биполярных СВЧ транзисторов и диодов и полевых МОП транзисторов. Во многих схемах применяются микромощные микросхемы, изготовленные по КМОП технологии (например, серии 561, 1561, 564). *Все эти детали, пока они не установлены в плату, необходимо* защищать от воздействия *статического электричества.* Его разрядами могут быть пробиты или повреждены все маломощные полупроводниковые приборы, а также интегральные схемы.

Существуют следующие методы защиты от разрядов статического электричества:

- подставка (держатель) для электропаяльника;
- химические (покрытие диэлектрических материалов проводящим слоем, повышение электропроводности ткани, специальные эмали и т.д.);
- механические (использование браслетов, замыкателей для полевых транзисторов и других устройств);
- схемотехнические (применение диодно-резисторной защиты);
- методы регулируемой влажности воздуха в производственных помещениях (использование специальных кондиционеров).

На человеке статическое электричество образуется из-за трения одежды и может превышать потенциал 1000 В. Чтобы

исключить случайный пробой указанных деталей, перед началом работы необходимо уравнять потенциалы монтируемой платы, паяльника и тела монтажника. Лучше всего электростатические заряды снимают с рук монтажника *антистатические браслеты*, кольца или антиэлектростатические халаты, заземленные через сопротивление 1 МОм для обеспечения безопасности. Если ничего из перечисленного у вас нет, то перед началом работ хотя бы коснитесь рукой металлической батареи отопления.

Простейший браслет можно изготовить следующим образом: на ручку паяльника намотать бандаж из нескольких витков неизолированного провода (или укрепить металлическое кольцо) и соединить его через резистор сопротивлением 100–200 кОм с металлическими частями паяльника (подробнее см. главу 1). Будьте внимательны: обмотка паяльника не должна иметь контакт с его жалом. Во время монтажа следует касаться свободной рукой проводников питания на монтируемой плате.

Рекомендуется исключать все факторы, провоцирующие возникновение разряда, то есть использовать специальную одежду из хлопчатобумажных тканей, кожаную обувь, тару из антистатических материалов, а также паяльники с заземленным жалом.

Детали, которые могут быть повреждены статическим электричеством, должны храниться в металлической фольге или специальных коробках. Если микросхема находится в металлической коробке или ее выводы защищены фольгой, нужно дотронуться до коробки или фольги и снять статическое электричество, прежде чем касаться самой микросхемы. Выводы полевых транзисторов можно обмотать оголенным проводом, который снимается при монтаже. Монтировать эти детали на плату лучше в последнюю очередь, после установки всех остальных элементов.

4.1.4. Защита электрических контактов

Загрязненные контакты очень часто становятся причиной отказа электрических устройств, приводя к различным неисправностям. Одной из причин загрязнения является воздействие внешней среды – атмосферные или климатические условия, например возрастающее загрязнение атмосферы промышленными газами, которые содержат соединения серы (сероводород, окись

серы) и серу с пылью. В результате реакции с этими газообразными соединениями на контактах с серебряным покрытием образуются окислы и сульфиды, обладающие значительным удельным электрическим сопротивлением и даже в тонком слое действующие как изоляционный материал. Серебро сильно темнеет и иногда полностью теряет проводимость, превращаясь в рыхлые сернистые соединения. Обнаружить причину отказа прибора в таких случаях бывает очень непросто.

В аппаратуре часто используются миниатюрные компоненты поверхностного монтажа с обкладками из серебряной пленки (в том числе и так называемые клиновидные конденсаторы), впаиваемые в пазы печатной платы. Со временем серебряные обкладки под пайкой полностью разрушаются, и конденсатор выключается из цепи. Внешне же пайка выглядит нетронутой и надежной.

Разрушение серебряного покрытия можно остановить, если нанести на него *защитную пленку*, например нитролак (или цапон-лак). Хорошими защитными свойствами обладает и покрытие из клея БФ-4. Перед монтажом детали и узлы надо тщательно осмотреть и на все серебряные покрытия нанести защитный лак, предварительно обезжирив их спиртом или ацетоном. Контакты переключателей покрывать лаком нельзя!

Если покрытие сильно потемнело, то перед нанесением лака его надо аккуратно зачистить ластиком до металлического блеска. Детали, у которых серебряное покрытие, оставшееся после удаления темной пленки, стало истонченным и неравномерным, лучше выбраковывать. Клиновидные конденсаторы в приборах, предназначенных для длительной эксплуатации, также применять не следует – это позволит в дальнейшем избежать многих отказов аппаратуры.

Вредные вещества могут попасть на контакты не только из окружающей среды, но и образоваться непосредственно из материалов контактов под воздействием электрической дуги, высокой температуры и давления. В процессе работы между контактами появляется металлическая пыль, под воздействием электрической дуги разрушаются органические вещества, оказавшиеся между поверхностями контактов, например в результате адсорбции паров органических веществ.

В настоящее время ведутся поиски составов для *очистки контактов*. Желательно, чтобы эти вещества на очищенных

контактах оставляли слой, не только защищающий от дальнейшего загрязнения, но и не влияющий на электрические параметры. Часть адсорбированных загрязнений (прежде всего *пыль и жиры) можно устранить различными растворителями.* В большинстве случаев используются трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, толуол, бензин и т.п. В последнее время применяют также некоторые жидкие соединения фтора и хлора, более известные как фреоны. Наиболее часто применяются фреон-113 (трихлортрифторэтан) и фреон-112 (дифтортетрахлорэтан).

Их главное достоинство (помимо негорючести и малой токсичности) состоит в том, что они не растворяют пластмассы, которые часто используются для изготовления несущих деталей контактов (даже такие малостойкие материалы, как полистирол и поликарбонат). Однако их широкому применению препятствует довольно высокая стоимость. Эти средства не только очищают, но и защищают, то есть создают на поверхности контактов консервирующую *защитную пленку*, которая предохраняет детали от дальнейшего загрязнения. Защитная пленка значительно удлиняет срок службы контактов и существенно сокращает количество их отказов.

Жидкость для очистки электрических контактов наносится различными способами в зависимости от типа и положения контактов – кисточкой, палочкой, шприцем с иглой, кусочком кожи, надетым на металлическую полоску и смоченным чистящим раствором. После нанесения какого-либо чистящего средства необходимо привести контакты в движение, чтобы раствор растекся по всей поверхности даже закрытых участков. Рекомендуется подождать (но не более 15 мин), пока испарится растворитель, а затем, если возможно, протереть очищенные контакты кусочком фильтровальной бумаги или кожи (на этот раз сухой), чтобы удалить излишки состава, а также растворенные загрязнения.

Ниже приведены два простых рецепта изготовления составов для очистки электрических контактов (их протирают кусочком кожи, смоченным в растворе).

Первый состав. В стеклянной банке смешивают 125 мл аммиака водного концентрированного и 375 мл этилового спирта или денатурированного бензина. Полученную смесь хранят в стеклянной посуде с притертой пробкой.

Второй состав. В 475 мл чистого бензина Б-70 («Галоша») растворяют 15–20 мл вазелинового масла (медицинского). После тщательного перемешивания готовый раствор переливают в стеклянную посуду с притертой пробкой.

Чтобы улучшить контакт между гальваническими элементами или дисковыми аккумуляторами, следует тщательно зачистить места касания элементов и покрыть их тонким слоем вазелина или другой густой смазки. Это обеспечит длительную бесперебойную работу батареи питания.

4.2. МОНТАЖ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

4.2.1. Порядок монтажа

Перед монтажом потемневшие выводы радиоэлементов следует зачищать до блеска, лудить их не обязательно. В качестве флюса лучше использовать канифольный лак, а не твердую канифоль.

Сборку печатной платы начинают с установки элементов, требующих механического крепления. При этом приходится иногда расширять отверстия и пазы, а делать это с уже размещенными деталями неудобно. Устанавливаемые радиодетали не должны иметь на корпусе царапин, трещин, вмятин или каких-то других механических повреждений. Даже если при тестировании они функционируют исправно, это еще не значит, что их работа продлится долго. На плате детали располагают так, чтобы они не касались друг друга.

При монтаже лучше использовать паяльник с заземленным жалом, температура которого должна составлять около 270 °С. Если она значительно выше, то припой на жале быстро выгорает и приобретает серый цвет, а при указанной температуре расплавленный припой не теряет зеркального блеска, который остается и после его остывания. Такая пайка обеспечивает качественное электрическое соединение.

Для ускорения пайки используют жидкий спиртоканифольный флюс, который разрушает окисную пленку на поверхности выводов деталей. Его легко изготовить самостоятельно, растворив кусок канифоли в спирте в пропорции примерно 1:10.

При пайке полупроводниковых приборов и других деталей, чувствительных к перегреву, следует касаться выводов не более

чем на 3 с и применять *теплоотвод*, в качестве которого можно с успехом использовать пинцет. В связи с тем, что сила сцепления печатного проводника с изоляционной платой невелика, не рекомендуется проверять прочность пайки, подергивая припаянную деталь, так как при этом можно оторвать ее вместе с проводником. Если печатный проводник отслаивается, его приклеивают к основе платы клеем БФ-2. Для этого проводник со стороны, обращенной к плате, и саму плату тщательно очищают от канифоли и оксидов (вначале спиртом или ацетоном, затем мелкой шкуркой) и смазывают тонким слоем клея. Примерно через 10 мин клей наносят вторично (только на плату) и прижимают проводник к плате жалом паяльника, нагретым до температуры 120–150 °С.

Чтобы пайка была прочнее, выводы деталей до установки на плату рекомендуется облудить. Их загибают таким образом, чтобы была видна *маркировка*. Это пригодится, когда вы будете налаживать устройство и разбираться в ошибках монтажа.

Во время пайки необходимо следить за тем, чтобы жало паяльника не касалось печатных проводников, поскольку это, как правило, приводит к их выгоранию. При пайке печатных проводников желательно пользоваться жидким флюсом, который наносят на место пайки с помощью кисточки или дозатора, не допуская его попадания на другие радиодетали.

Рекомендуется применять припой с низкой температурой плавления ПОС-61 (температура плавления 190 °С), ПОСК-50 (145 °С), ПОСВ-30 (130 °С) и др. Чтобы припой лучше растекался, место пайки прогревают в течение 2–3 с.

Совет. *Для пайки двух проводников или выводов деталей на весу пригодится простое приспособление, состоящее из деревянного кубика и двух деревянных прищепок, прикрепленных к его противоположным сторонам. Проводники зажимаются прищепками – в таком положении паять их гораздо удобнее.*

Некоторые детали (диоды, стабилитроны, электролитические конденсаторы и др.) обладают полярностью, которую необходимо учитывать при монтаже.

Для пайки транзисторов желательно иметь низковольтный паяльник на 6 или 12 В, присоединяемый через понижающий трансформатор мощностью около 40 Вт. Можно пользоваться и обычным паяльником, но нужно сначала его нагреть, а потом отключить и паять. Выводы транзистора, если позволяет его конструкция, нужно оставлять не короче 15 мм, изгибать их не ближе 10 мм от корпуса, при этом изгиб должен быть плавным. Температура нагрева контактного слоя транзистора не должна превышать 75 °С, поэтому для отвода тепла при пайке выводы у корпуса нужно держать плоскогубцами или пинцетом. Паяльник должен располагаться как можно дальше от транзистора, пайку нужно заканчивать быстрее. Жало необходимо зачистить и покрыть припоем, который должен быть легкоплавким. Желательно применение пистолетных паяльников, которые включаются только во время пайки.

Окончив пайку, выступающие выводы деталей укорачивают и растворителем смывают остатки канифоли, что позволяет проконтролировать качество монтажа: на плате не должно оставаться капель припоя и междорожечных замыканий.

Смонтированную плату желательно отмыть спиртом, пользуясь небольшой жесткой кистью, а затем покрыть канифольным лаком. Такое покрытие, как ни странно, весьма влагостойко и сохранит «паяемость» платы на долгие годы, что удобно при ремонте и доработке устройства.

Часто вызывает трудность подключение приобретенного для изготавливаемого устройства жидкокристаллического индикатора с напыленными на стекло выводами, но без резиновой контактной гребенки. Это проще, чем кажется. Для начала нужно заготовить необходимое количество облуженных отрезков провода диаметром 0,1–0,2 мм. Контактную поверхность индикатора протрите спиртом и хорошо высушите. На напыленные контактные площадки индикатора наложите проволочные выводы, нанесите по капле токопроводящего клея (см. главу 2) и выдержите при комнатной температуре 1,5–2 суток. Желательно, чтобы выводы плотнее прилегали к контактным площадкам. Затем под увеличительным стеклом узкой отверткой тщательно удалите возможные замыкания. Это и будут проволочные выводы, которые затем можно паять.

4.2.2. Монтаж ИС

Монтаж интегральных *микросхем* представляет наибольшую трудность. Их стоимость достаточно высока, а вывести их из строя очень легко.

Микросхемы следует паять за кончики выводов, вставляя выводы в монтажные отверстия не до упора, а лишь до выхода со стороны пайки на 0,5–0,8 мм. Это облегчит их демонтаж в случае ремонта и уменьшит вероятность замыканий в двусторонних платах. Под микросхемы в металлических корпусах следует подложить бумажные прокладки и приклеить их к плате канифольным лаком.

Во время пайки нельзя перегревать корпус микросхемы. Поэтому следует использовать припой с температурой плавления не более 260 °С, мощность паяльника не должна превышать 40 Вт, длительность пайки одного вывода – не более 5 с, а промежуток времени между пайками выводов одной микросхемы должен быть не менее полминуты. Если ведется монтаж нескольких микросхем, то сначала паяют первый вывод первой микросхемы, затем первый вывод второй и т.д., далее второй вывод первой микросхемы, второй вывод второй и т.д. Благодаря такому приему микросхемы успевают остывать между пайками. Микросхемы КМОП могут быть выведены из строя разрядом статического электричества, который, как правило, скапливается на одежде. Чтобы этого не произошло, жало паяльника и руки радиомонтажника необходимо заземлять.

Монтаж микросхемы может быть выполнен печатным способом, проводами или комбинированно. При пайке удобнее использовать провода в тугоплавкой изоляции: многожильный типа МГТФ 0,07–0,12 мм^2 или одножильный луженый 0,25–0,35 мм^2. Сначала на вывод микросхемы в 1–1,5 витка наматывают провод, а затем производят пайку. Этот метод хорош тем, что позволяет неоднократно перепаивать провода, а такая необходимость может возникнуть при наладке устройства. Печатный способ монтажа следует применять в том случае, если вы уверены, что схема работоспособна, а также при изготовлении нескольких одинаковых устройств на одинаковых платах.

При комбинированном способе монтажа одни выводы микросхемы припаивают к контактным площадкам, а в другие отверстия контактных площадок впаивают проволочные проводники.

На рис. 3.3 и 3.4 в главе 3 были показаны варианты монтажа микросхем на двусторонней печатной плате. Одни выводы микросхемы, как видно из рисунков, впаивают в отверстия контактной площадки, другие – непосредственно к печатному монтажу.

Неиспользуемые выводы микросхем ТТЛ следует объединять в группы по 10 штук и подключать к плюсовой шине питания через резистор 1–1,5 кОм; неиспользуемые выводы микросхем КМОП можно непосредственно подсоединять к плюсовой шине.

Чтобы обеспечить достаточную *помехозащищенность,* между шинами питания следует устанавливать конденсаторы типов КМ-6, К10-7, К10-17 емкостью 0,1–0,047 мкФ из расчета один конденсатор на два-три корпуса микросхем. Особое внимание при этом необходимо уделять устройствам, имеющим в своем составе микросхемы памяти – триггеры, счетчики и т.п.

Соединительные провода в длину не должны превышать 20–30 см. Если же требуется передать сигнал на большее расстояние, используют так называемые *витые пары.* Для этого скручивают два провода, по одному из них подают сигнал, а второй заземляют (соединяют с общим проводом) с обоих концов. Целесообразно также подключить концы сигнального провода к плюсовой шине через резисторы 1 кОм (для ТТЛ микросхем) или 100 кОм (для КМОП микросхем). Длина проводов витой пары может составлять 1,5–2 м.

4.2.3. Использование поверхностного монтажа

В современной промышленной электронике широко применяется *поверхностный монтаж.* Напомним, что для этого используют специальные миниатюрные элементы без выводов.

Поверхностный монтаж (в литературе часто встречается название SMD-монтаж[1]) представляет немалый интерес и для радиолюбителей. Однако некоторые считают, что этот метод очень сложен, поскольку изготовить в домашних условиях подобную плату якобы невозможно. На традиционных печатных платах рисунок проводников наносят по опорным точкам, в качестве которых используются отверстия под выводы деталей

[1] От англ. *surface-mountable device* – прибор для поверхностного монтажа на печатную плату.

или места для их сверления. При поверхностном монтаже отверстий нет, поэтому и создается впечатление, что выполнить такой рисунок труднее.

Все это, конечно, справедливо, однако преимущества поверхностного монтажа неоспоримы, поскольку данный метод можно использовать как полностью, так и частично. Например, он легко сочетается со всеми видами традиционного печатного монтажа, что позволяет применять его даже в серийных конструкциях. Таким образом, широкие перспективы данного способа в радиолюбительской практике очевидны: даже замена 5–15% обычных радиоэлементов «поверхностными» приносит весьма ощутимый выигрыш. Значительно упрощается изготовление печатной платы, уменьшается число просверливаемых отверстий, плотность монтажа на плате тех же размеров заметно увеличивается, поскольку «поверхностные» элементы миниатюрны и припаиваются, как правило, со стороны печатных проводников.

Наиболее эффективно применение двухвыводных радиоэлементов – резисторов, конденсаторов и диодов. Лучшего результата достигают при использовании керамических конденсаторов емкостью от 0,01 до 1 мкФ – это всего 25 номиналов (в ряду E12). Несколько меньший выигрыш дает применение «поверхностных» диодов, так как в большинстве радиолюбительских конструкций их сравнительно немного, да и размеры обычных диодов невелики. При работе с резисторами возникает некоторая сложность – очень велико количество номиналов (более сотни!), что вызывает необходимость изготовить вторую кассетницу для резисторов.

Для поверхностного монтажа вместо отверстий на печатной плате предусматривается пара контактных площадок, находящихся друг от друга на расстоянии 0,5–1,5 мм. Площадки должны быть шире детали на 0,5–1,5 мм и выступать за ее края на 1,5–2 мм. Но часто и сами площадки не нужны, поскольку детали можно припаивать непосредственно к близко расположенным печатным проводникам.

Иногда смонтированную печатную плату приходится дорабатывать – менять радиоэлементы, одни удалять, а другие устанавливать и т.п. В этих случаях применение «поверхностных» деталей существенно упрощает решение задачи, особенно

когда для установки обычных места не остается. Если длина контактов миниатюрной детали не позволяет дотянуться до нужной монтажной площадки, то к одному из них припаивается удлиняющий проводник (медный монтажный провод).

Для выполнения поверхностного монтажа подойдет практически любой паяльник с зауженным до 1,5–2 мм жалом или с насаженным на стержень коротким хвостовиком из нескольких витков медного провода диаметром 1,5–2,5 мм (см. рис. 2.4). Питание на паяльник необходимо подавать только через автоматический регулятор температуры, поскольку «поверхностные» элементы более чувствительны к перегреванию. Деталь при пайке следует держать пинцетом. При этом наиболее удобен стоматологический пинцет с длинными изогнутыми тонкими губками.

4.3. РЕМОНТ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

4.3.1. Проверка печатных плат

После лужения плат нередко возникают *замыкания* между проводниками печатного монтажа, поэтому плату необходимо тщательно обследовать. Обычно все недостатки обнаруживаются сразу. Однако после завершения монтажа замыкание трудно найти, в частности из-за разветвленности проводников. Для обнаружения таких неисправностей существуют специальные приборы, позволяющие сравнительно быстро найти замыкание после изготовления печатной платы. Например, в статье И. Нечаева «Искатель места замыкания проводников платы» (журнал «Радио», 1996, № 6) описан прибор, существенно облегчающий подобную работу. Он очень удобен при мелкосерийном изготовлении различных устройств.

В радиолюбительской практике необходимость в поиске замыканий в платах возникает относительно редко, поэтому изготовление такого, хоть и сравнительно несложного, прибора едва ли оправдано. Ниже описан эффективный метод поиска замыканий, не требующий специального оборудования и пригодный для работы как с новыми, так и с уже смонтированными платами.

Рассмотрим предлагаемый способ на примере поиска замыкания между проводниками питания и общего провода в сложном

устройстве, содержащем много микросхем. Этот случай весьма распространен, поскольку указанные проводники распределены по всей плате и подсоединены к каждой микросхеме.

Вариант расположения проводников на условной плате приведен на рис. 4.2. Место замыкания между точками 7 и 8 показано тонкой линией. К проводникам платы в соответствии с полярностью при нормальной работе устройства (это важно лишь в случае смонтированной платы) следует подключить источник питания с регулируемым напряжением U_0, но не превышающим номинального (лучше, если оно будет меньше на 0,5–1 В), через резистор R. Он ограничивает ток через печатные проводники на уровне 2 А. Значение рабочего тока выбирают исходя из падения напряжения между точками 1 и 2, которое должно быть не более 100 мВ. Мощность резистора также должна быть соответствующей величины.

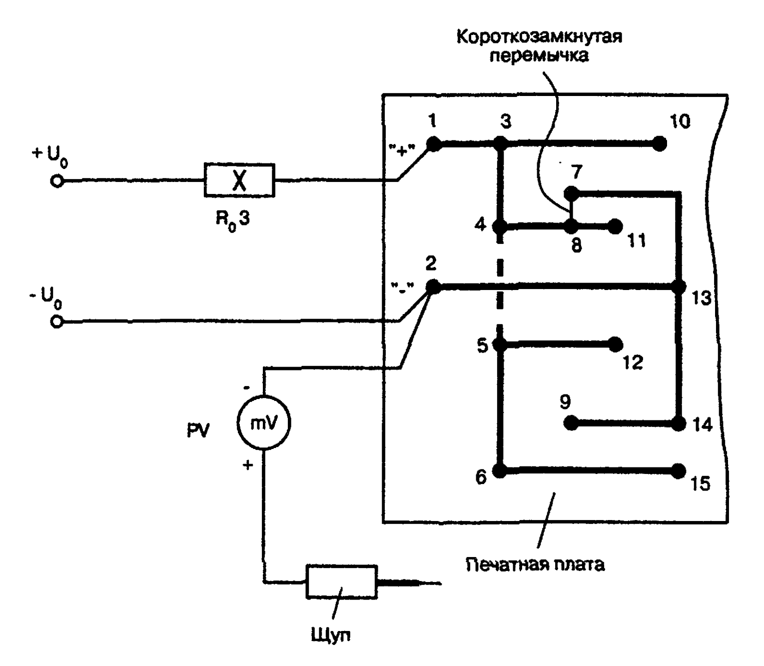


Рис. 4.2. Схема поиска замыканий на плате

Далее к одному из проводников платы (например, к общему проводу) необходимо подключить первый вывод милливольтметра PV с чувствительностью 100–200 мВ полной шкалы. Второй вывод должен быть снабжен щупом с острой иглой. Подключая поочередно второй вывод милливольтметра к различным точкам «плюсового» проводника платы, начиная с точки 1, следует найти такую точку, когда показание милливольтметра минимально и после которой перенос щупа в любую другую точку проводника не приводит к изменению показаний, а переход к предыдущей точке их увеличивает.

В качестве примера рассмотрим рис. 4.2. Напряжение в точке 1 максимально, в точке 3 оно меньше из-за падения напряжения на участке 1–3. При переходе к точке 10 напряжение не изменится, но при установке щупа на точку 4 оно опять уменьшится, значит, поиск надо продолжить в этом направлении. Но в точках 5, 6 и 12 величина напряжения не меняется. А вот в точке 8 напряжение будет еще меньше, причем в точке 11 оно такое же, как и в точке 8. Переход к точке 7 общего проводника не изменит показания милливольтметра или же слегка уменьшит его. Поэтому именно точка 8 отвечает указанным выше требованиям минимального напряжения и является в данном случае местом замыкания проводника питания и общего провода.

Удобнее использовать цифровой милливольтметр, поскольку в процессе поиска необходимо точно запоминать предыдущее показание и сравнивать его с последующим. Можно применять и любой стрелочный микроамперметр с большой шкалой.

При работе со смонтированными платами следует очень осторожно выбирать напряжение источника питания, его полярность и ограничительное сопротивление. Если в процессе поиска замыкание исчезнет, поданное напряжение не должно вывести устройство из строя. Достаточно безопасным можно считать напряжение 0,5 В (при таком напряжении p-n переходы полупроводниковых приборов не открываются) с ограничением тока в самом источнике на уровне 1–2 А (этим характеристикам отвечают многие лабораторные источники питания).

Если источник позволяет регулировать напряжение от нуля, можно подобрать такое значение, при котором роль токоограничительного резистора будут выполнять сами соединительные провода.

Следует иметь в виду, что измерительная обмотка милливольтметра при пропадании замыкания из-за перегрузки может перегореть. Во избежание этого необходимо, чтобы первое касание к каждой точке проводника было коротким. При «зашкаливании» прибора щуп надо немедленно отключить.

4.3.2. Демонтаж деталей

Если необходимо заменить вышедшую из строя деталь (резистор, конденсатор, транзистор и т.п.), не следует выпаивать ее из платы, так как это может привести к отслаиванию печатных проводников от основы. Выводы поврежденной детали нужно аккуратно перекусить кусачками с таким расчетом, чтобы в плате остались концы длиной 8–10 мм. К ним и припаивают исправную деталь. Делать это нужно быстро, не допуская перегрева места пайки, иначе может перегореть печатный проводник.

В случае замены неисправной детали или для удаления лишнего элемента выполняется *демонтаж*. Для этих целей лучше использовать специальный демонтажный паяльник (см. главу 1). Если требуется снять со старой платы какую-либо многовыводную деталь (микросхему, ламповую панель, разъем и т.п.), а под руками нет специальных инструментов, это можно сделать описанным ниже способом. Он, правда, не подходит для тех случаев, когда печатные проводники платы нужно сохранить.

Скальпелем или острым монтажным ножом перерезают печатную дорожку на расстоянии 8–15 мм от пайки вывода детали. Лезвием поддевают и поднимают край фольги со стороны вывода. Ухватив пинцетом за край фольги, постепенно отделяют ее от поверхности платы непосредственно до места пайки. Теперь нужно горячим паяльником расплавить припой и удалить весь участок фольги вместе с круглой площадкой вокруг вывода. Остается вывод, почти свободный от припоя.

Таким же образом освобождают от припоя один за другим все выводы демонтируемой детали. После этого ее свободно извлекают из отверстий платы.

Обрыв токопроводящей дорожки на плате чаще всего происходит из-за неаккуратного ремонта (выгорание проводника при его перегреве). Иногда он может возникнуть в результате деформации самой платы или механического повреждения проводника. Если в проводнике образовалась трещина не более 1 мм, то ее следует залить припоем так, чтобы он прочно соединился с проводником на 5–10 мм по обе стороны от обрыва. При повреждении проводника на большом протяжении его восстанавливают прокладкой луженого медного провода диаметром 0,8–1 мм, концы которого впаивают в металлические пистоны, имеющие на концах токопроводящие дорожки. Провод укладывают в канавку и приклеивают, чтобы не нарушать прежнего взаиморасположения проводов, так как в противном случае могут изменяться емкости между проводниками, что приведет к смене взаимосвязей между различными элементами схемы.

Если доступ к поврежденной печатной линии затруднен, то устанавливают *перемычку* с другой стороны платы. Провод выгибают буквой «П» во избежание замыкания других линий. Концы перемычки припаивают к конечным точкам поврежденной дорожки. Прогоревший участок изоляционной основы платы высверливают, а поврежденный участок схемы заменяют навесным монтажом (проводами).

У новой детали, устанавливаемой на плату, длина выводов должна быть минимальной, однако достаточной для того, чтобы она не прикасалась к другим деталям.

При замене вышедших из строя многоштырьковых радиоэлементов (микросхемы, контурные катушки, малогабаритные трансформаторы и другие детали с несколькими выводами) часто допускают следующую ошибку: непрерывно нагревая контакты, наклоняют выпаиваемую деталь в стороны и постепенно вытягивают ее из гнезд печатной платы. При этом фольга печатного монтажа отслаивается, и в результате повреждается печатная плата ремонтируемой радиоаппаратуры. А ведь в арсенале радиолюбителя имеется немало простых и более грамотных способов замены радиоэлементов!

При *демонтаже* унифицированных катушек, трансформаторов НЧ и т.п., каркасы которых изготовлены из полистирола, можно воспользоваться отрезком металлической оплетки, снятой с экранированного провода диаметром 2–3 мм. Оплетку

прикладывают к месту пайки со стороны печатных проводников и плотно прижимают к ней жало нагретого паяльника. Расплавившийся припой впитывается оплеткой, и вывод детали освобождается. Для лучшего впитывания припоя оплетку рекомендуется пропитать канифолью или канифольным флюсом. Использованную часть оплетки после каждой пайки отрезают. Освободив от припоя все выводы, деталь легко снимают с платы.

Совет. *Очень важно, чтобы пайка во всех случаях производилась паяльником мощностью не более 50 Вт. Перед этим аппаратуру нужно отключить от сети, так как иногда паяльник может быть закорочен на корпус. В этом случае возможно замыкание сети через корпус паяльника и печатные проводники, что приведет к выгоранию печатного слоя.*

Можно выпаивать каждый контакт отдельно с помощью простого приспособления (рис. 4.3). Оно представляет собой трубку диаметром 1 мм, изготовленную из металла, который плохо облуживается (например, нержавеющая сталь или алюминий). Толщина стенки трубки не должна превышать 0,2 мм, иначе она не пройдет между контактом и отверстием в плате.

Чтобы выпаять контакт, на него надевают трубку и хорошо прогревают паяльником. Трубку, вращая, вводят в зазор между контактом и стенками отверстия. После затвердения припоя ее осторожно вынимают. В результате многоштырьковый радиоэлемент или малогабаритный трансформатор легко снимается, а фольга печатного монтажа и выпаиваемый радиоэлемент не повреждаются.

Игла от медицинского шприца также может быть использована для извлечения микросхем из печатных плат. Применение насадок к паяльникам в этом случае малоэффективно, поскольку часто происходит перегрев выводов микросхемы, а также отслаивание проводящей дорожки от платы. С помощью иглы значительно легче вынуть микросхему: перегрев исключается, а отверстия в плате остаются чистыми, что позволяет сразу перейти к установке новой микросхемы.

Для этого потребуется игла, диаметр отверстия которой соответствует диаметру выводов микросхемы. Один конец иглы стачивают под прямым углом до основания заостренного скоса,

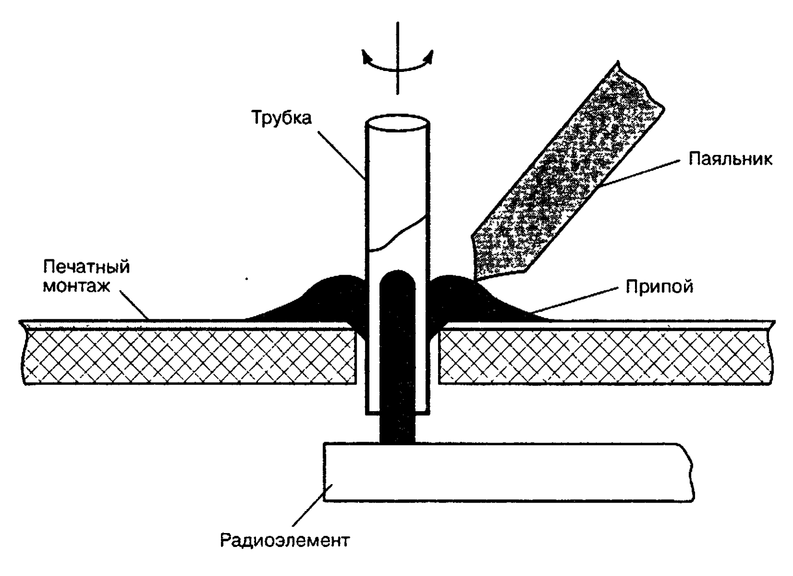


Рис. 4.3. Приспособление для выпойки электрорадиоэлементов из печатной платы

а на другой надевают кусочек пластмассовой трубки. Иглу насаживают на выступающий вывод микросхемы, а паяльником разогревают припой возле вывода, одновременно нажимая на иглу. При этом она входит в отверстие печатной платы, отделяя контактную площадку от вывода микросхемы. Так как игла сделана из нержавеющей стали, она не залуживается и припой к ней не пристает. Вместе с тем игла отводит тепло от вывода микросхемы во время прогрева пайки. После затвердевания припоя она снимается с вывода и надевается на следующий. Таким образом поочередно освобождают от соединения с платой все выводы микросхемы при их минимальном и кратковременном прогреве.

Пользуясь набором игл разных диаметров, можно выпаивать из печатных плат не только микросхемы, но и другие элементы, обеспечивая целостность контактных дорожек платы. Припой, попавший внутрь иглы, легко удалить, прогревая иглу с помощью паяльника и одновременно продувая ее через трубку.

Планарные микросхемы удобно выпаивать, продев под одним рядом лапок нитку и закрепив ее с одной стороны. Затем, нагревая лапки, потянуть за другой конец нитки. Таким образом, под

некоторым давлением лапки одна за другой аккуратно отделятся от платы.

Если сама плата или основа больше не требуется, то можно выпаять микросхему, нагрев плату над электроплитой или газовой горелкой со стороны проводников. Тут необходимы определенный навык и осторожность. Однако данный метод очень удобен для снятия с платы всех деталей.

При демонтаже микросхем, впаянных в печатные платы, паяльник должен быть с насадкой, небольшого размера, мощностью не более 40 Вт, с температурой нагрева жала не более 200 °С. Насадка имеет два широких жала, которые прижимаются к рядам припаиваемых выводов микросхемы. Она навинчивается на резьбу на жале паяльника. Припой должен быть с низкой температурой плавления, его количество при пайке должно быть минимальным. Пайка производится в течение нескольких секунд при отключенном питании паяльника.

4.3.3. Поиск тепловых неисправностей

Тепловые неисправности печатного монтажа обнаружить очень трудно, а порой и вовсе невозможно. Кроме того, проявляться они могут не каждый раз, что создает ложный эффект их самоустранения.

Один из путей решения этой проблемы – способ выборочного охлаждения. Суть его заключается в обнаружении неисправного компонента путем локального понижения температуры. При этом порядок действий будет следующим:

1. Включить устройство и выждать, пока не проявится неисправность (при необходимости прибор можно немного нагреть, скажем, на батарее отопления).
2. Взять из морозильника кусочек льда и завернуть его в полиэтилен для предупреждения возможных замыканий при таянии.
3. Выключить устройство и поочередно приложить лед на 10–20 с к корпусу каждой детали (микросхеме).
4. Включить и посмотреть, проявилась ли неисправность.
5. Повторять последние два пункта до устранения неисправности.

При охлаждении детали, дающей тепловой сбой, неисправность исчезнет. Останется только выпаять элемент и заменить его новым.

5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СЕКРЕТЫ

5.1. МАЛЕНЬКИЕ ХИТРОСТИ

5.1.1. Изготовление разъемов

Многоконтакные *разъемы* любой конфигурации для печатных плат можно легко изготовить, имея штырьки и гнезда от обычных разъемов. Гнезда должны быть выполнены в виде трубочек, а не лир. (Такие разъемы очень широко применялись в старой радиоэлектронной аппаратуре.) В процессе работы штырьки необходимо впаять в плату, на них надеть гнезда, к которым предварительно припаивают соединительные провода. Затем из плотной бумаги или картона склеивают небольшое прямоугольное корытце с отверстиями под гнезда, которые пропускают через эти отверстия и вновь надевают на штыри. Зазоры между отверстиями корытца и гнездами герметизируют пластилином с внешней стороны, а корытце заливают твердеющей пластмассой – протакрилом (применяется в зубной технике) или эпоксидной смолой. После затвердевания пластмассы разъем разъединяют, корытце удаляют, а поверхность пластмассы обрабатывают напильником, чтобы придать аккуратный и красивый вид. Перед заливкой наружную поверхность гнезд целесообразно обезжирить, а штырей – смазать вазелином. В итоге получается неразборный штыревой разъем.

5.1.2. Тонкий щуп

Проводя ремонт современной аппаратуры, радиолюбители часто сталкиваются с тем, что монтаж очень плотный и обычным щупом вольтметра до вывода элемента не добраться. Нужен очень тонкий щуп. В таком случае можно воспользоваться простым приспособлением в виде иглы-вставки в зажим «крокодил». Изготовить ее можно из обычной швейной иглы или отрезка стальной проволоки диаметром 0,5–0,9 мм. Тупой конец иглы на длину до 10 мм лудят паяльной кислотой или другим активным флюсом. Затем на этот участок наматывают луженую медную проволоку диаметром 0,6–0,9 мм и пропаивают. В результате получается тонкий и удобный щуп. Чтобы предотвратить случайные замыкания, на иглу необходимо надеть отрезок ПВХ трубки красного (+) и синего (–) цветов, оставив пропаянный участок свободным. При работе такой щуп просто зажимают в «крокодил» и проводят измерения.

5.1.3. Уход за ручками управления

Радиолюбители знают, что при ремонте, профилактическом осмотре и чистке от пыли радиоаппаратуры всегда приходится снимать ручки управления. Как показывает опыт, если ручки долго не снимались, то со временем они настолько сильно «присыхают» к валам переменных резисторов, что без повреждения снять их уже не удается.

Чтобы ручки управления легко снимались, их следует устанавливать на смазку непосредственно перед эксплуатацией прибора, пока они еще не успели «присохнуть». Для этого их нужно снять, покрыть отверстия небольшим количеством смазки (например, ЦИАТИМ-201 или технического вазелина) и вернуть ручки на место. Но удобнее смазку наносить непосредственно на конец вала каждого органа управления.

Ручки управления со смазкой легко установить на вал и при необходимости легко снять, что позволяет производить ремонт прибора, не повреждая их. Смазку рекомендуется периодически (раз в 1–2 года) обновлять.

5.1.4. Ручка настройки большого диаметра

При изготовлении приемников, передатчиков, измерительных приборов и другой аппаратуры, требующей точности настройки, часто возникает вопрос, где приобрести ручку большого диаметра. Ведь ей намного легче «поймать» нужную частоту.

Между тем такую ручку легко изготовить самостоятельно. Состоит она из двух деталей. Основу выполняют из обычной пластмассовой ручки, хорошо сидящей на валу органа настройки. С ее передней стороны необходимо сточить все выступы до образования плоской поверхности. Следите, чтобы при вращении ручки не было слишком большого осевого биения.

К подготовленной таким образом ручке любым способом прикрепляют круглую деталь большого диаметра, расположив ее центр точно по центру ручки. Это может быть пластмассовая крышка, диск из оргстекла и т.д. Выбор формы, цвета и диаметра самый разнообразный. Все зависит от вашего вкуса.

Если обе детали из пластика, то склеить их можно растворителем 646 или другим на основе ацетона. Если основа металлическая, то можно применить эпоксидный клей или скрепить винтом.

5.1.5. Гайка «барашек»

«Барашком» называют гайку, конструкция которой позволяет легко затягивать ее рукой. Такая гайка часто применяется для крепления переносного заземления приборов. Изготовить ее самостоятельно не так уж и сложно. Можно к обычной гайке пайкой или сваркой прикрепить обработанную металлическую пластинку нужного размера. Но есть и более простой путь.

Потребуются две гайки: одна с нужной резьбой, а другая больше, чтобы в ее резьбовое отверстие с усилием входила первая. Затем обычным молотком первая гайка запрессовывается во вторую. Получается конструкция, которую можно легко завернуть рукой. Так для гайки с резьбой М5 внешний размер «барашка» будет под ключ на 17.

В табл. 5.1 приведены размеры и совместимость стальных гаек с метрической резьбой. Если гайки нестандартного размера, то их совместимость надо будет подобрать экспериментально.

Таблица 5.1. Совместимость гаек с метрической резьбой

Размеры гаек со стандартной резьбой, мм					
Меньшая гайка	М3	М4	М5	М6	М8
Размер под ключ, S	5	7	8	10	13
Диаметр гайки (1,155×S), мм	5,8	8,1	9,2	11,5	15
Бóльшая гайка	М6	М8	М10	М12	М16
Внутренний диаметр резьбы, мм	4,7	6,38	8,05	9,73	13,4
Наружный диаметр резьбы, мм	6,09	8,11	10,14	12,16	16,18
Размер под ключ, S	10	13	17	19	27

Если диаметр изготовленного «барашка» все же маловат, то его можно составить из трех гаек. При этом резьбу внутренней гайки рекомендуется обработать чистовым метчиком. Для удлинения резьбы можно поставить две гайки.

Совет. *Чтобы не испытывать трудности с откручиванием гаек, обрабатывайте резьбу смазками ЦИАТИМ или ЛИТОЛ. Это особенно необходимо, если конструкция находится на улице или в какой-либо влажной среде. Смазка предотвратит образование ржавчины и обеспечит легкость последующего откручивания.*

5.1.6. Сматывание провода с бухты

Радиолюбители время от времени используют тонкий обмоточный провод, который часто бывает скрученным в моток без каркаса. При сматывании с бухты провод путается, возникают петли. В конце концов вся бухта превращается в спутанный клубок, и ничего другого не остается, как выбросить ее. Чтобы этого не произошло, можно из деревянного бруска вырезать сердечник, продеть в бухту и закрепить его на подставке. Теперь при разматывании бухты провод не будет путаться.

Можно поступить проще и, главное, быстрее. Из толстого поролона надо вырезать деталь, похожую на букву «Н», у которой перекладина должна быть чуть короче осевой длины бухты, а высота боковых стоек больше диаметра бухты. Полученный мягкий каркас продевают сквозь бухту так, чтобы она оказалась надетой на его перекладину. Теперь провод можно сматывать, не боясь его запутать.

Подобный каркас удобен также при сматывании рыболовной лески, ниток и т.д.

5.1.7. Определение диаметра провода

Если нужно определить диаметр провода, а под рукой нет микрометра, то можно поступить следующим образом. Надо на круглый стержень, например на карандаш, плотно намотать несколько десятков витков провода и линейкой измерить длину намотки. Диаметр провода (приблизительно) получим, если разделим длину намотки в миллиметрах на количество витков. Чем больше витков, тем точнее будет результат.

5.1.8. Вырезание слюдяных прокладок

При установке мощных транзисторов и диодов на теплоотвод радиолюбителю приходится сталкиваться с изготовлением прокладок из тонкой (0,04–0,5 мм) слюды. Наибольшую трудность здесь представляет прорезание отверстий.

В этих случаях можно воспользоваться обычным чертежным измерителем или циркулем с двумя иглами. На чертеж прокладки, нарисованный на плотной белой бумаге в масштабе 1:1, накладывают заготовку слюды. Одну иглу циркуля устанавливают в центр будущего отверстия, а второй процарапывают

окружность требуемого диаметра. Вращать циркуль нужно осторожно, без нажима и обязательно в одну сторону, иначе слюда может расслоиться.

5.1.9. Ванночка за пять минут

Предлагаемая конструкция может заменить собой набор ванночек для травления печатных плат различных размеров. Нужные размеры ванночки получают, собирая ее из четырех одинаковых пластин (рис. 5.1), соединенных в жесткий каркас квадратной или прямоугольной формы. Каркас устанавливают на ровную горизонтальную поверхность, сверху накладывают полиэтиленовую пленку, расправляют ее и наливают в получившуюся ванночку раствор. Под давлением жидкости пленка прижимается к стенкам и принимает форму каркаса.

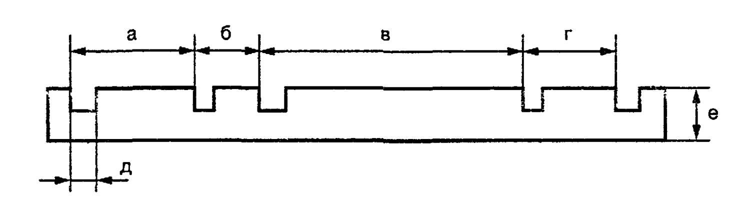


Рис. 5.1. Каркас ванночки

Толщину деталей каркаса выбирают с таким расчетом, чтобы он выдержал заливку ванночки максимального размера. Ширина прорезей *д* равна толщине пластины, а глубина – половине высоты *е*. Размеры *а, б, в, г* выбирают соответственно в соотношении 2:1:4:1. Наиболее оптимальным решением является ванночка с каркасом из полистирола толщиной 5 мм и размерами *а, б, в, г, д, е* соответственно 100, 50, 200, 50, 5, 35 мм.

5.1.10. Серебрение проводников и деталей

В этом разделе описывается способ нанесения тонкого слоя серебра на печатные проводники платы, на провод для намотки высокочастотных катушек и навесных соединений в аппаратуре и другие детали из меди. В его основе лежит восстановление металла из раствора соли.

Рассмотрим случай *серебрения* медного провода. Для работы потребуется три фаянсовых или стеклянных сосуда объемом 0,5 л

и проточная вода. В первый сосуд наливают концентрированную серную кислоту плотностью 1,84 г/см^3 для *декапирования* поверхности провода. Второй сосуд, поставленный под проточную воду, нужен для промывки провода перед серебрением и после него. Третий сосуд заполняют раствором для серебрения: нитрата серебра – не более 10 г, глюкозы медицинской – 5 г и аммиака водного 25-процентного – 20 мл. В 250 мл дистиллированной воды растворяют нитрат серебра и затем вливают водный аммиак. После того как образовавшийся в первый момент коричневый осадок оксида серебра полностью растворится, в сосуд добавляют, перемешивая раствор, глюкозу, растворенную в отдельной посуде в 200 мл воды.

Необходимо помнить, что приготовление раствора на водопроводной воде недопустимо, так как она содержит соли, способные нарушить процесс. Температура воды для приготовления растворов – 20 °С; при этой же температуре проводят серебрение.

Содержание аммиака сильно влияет на качество покрытия, поэтому в рецепте его количество минимально, и перед началом работы для пробы нужно провести несколько экспериментов. Небольшие отрезки декапированного провода погружают в серебряную ванну на 5–10 с, увеличивая после каждой пробы количество аммиака в ванне на 1–2 мл до достижения плотного, блестящего, механически стойкого покрытия белого цвета со слегка золотистым оттенком. Корректировку раствора при наличии универсального pH-индикатора можно упростить: его показания должны составлять 8–9.

Вместо аммиака можно использовать 10-процентный раствор гидрооксида натрия или калия (едкого натра или едкого калия). К содержанию серебра раствор некритичен, поэтому при малом объеме работы количество исходных веществ можно пропорционально уменьшить при том же объеме воды для их растворения.

Для серебрения провод свивают на цилиндрической оправке в крупновитковую спираль и погружают в сосуд с реактивом, удерживая за отогнутый конец провода. Результат во многом зависит от подготовки поверхности к покрытию и тщательного соблюдения технологии проведения работ.

В заключение следует отметить возможные наиболее характерные отклонения от нормального процесса. Если покрытие

представляет собой черный смывающийся налет, значит, провод не декапирован или в растворе мало аммиака, или изделие не промыто после декапирования. Когда покрытие имеет синеватый оттенок и местами слой серебра снимается при трении в виде чешуек, в растворе мало аммиака. Снежно-белый матовый цвет покрытия и образование трещин в месте крутого перегиба говорят о том, что в растворе много аммиака и его необходимо нейтрализовать (ввести в состав несколько капель крепкой азотной кислоты). Тот же результат получается при передержке изделия в ванне – образовавшийся толстый слой серебра непрочен. Если изделие плохо очищено или после декапирования длительное время находится в воде или на воздухе, на поверхности вновь образуется оксидная пленка, покрытие становится неравномерным, и на нем проявляются серые пятна.

К недостаткам серебряного покрытия можно отнести разницу в упругости слоя и основы, устранить которую можно лишь специальной термообработкой, невозможной в любительских условиях. Необходимо помнить, что лишь тонкослойное покрытие наиболее устойчиво к деформациям.

Перед окончательной пятнадцатиминутной промывкой проточной водой изделие желательно пассивировать в течение 20 мин в 1-процентном растворе дихромата калия при комнатной температуре. Готовый раствор для серебрения можно хранить не более недели. Длительное хранение раствора опасно из-за возможного образования осадка гремучих соединений серебра.

Совет. *Каждому фотолюбителю известно, что для серебрения металлов можно применять отработанный раствор фиксажа. В него опускают деталь и оставляют на некоторое время. Длительность серебрения подбирают экспериментально. Если вы не занимаетесь фотографией, то приобретите в фотомагазине пакет фиксажа и пачку черно-белой фотобумаги. Разведите фиксаж в 350 мл воды, поместите туда засвеченную фотобумагу и подождите 10 мин. После этого опустите в раствор нужную деталь. Старайтесь при этом не передерживать.*

5.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА

В описании некоторых приборов с питанием от сети переменного тока часто приводится тип готового или параметры самодельного трансформатора. Готовый трансформатор можно приобрести в радиомагазине. Но нужный тип не всегда есть в продаже. Для самостоятельного изготовления трансформатора железные пластины и медный провод в эмалевой изоляции приобрести несложно, а вот в дальнейшем возникает немало вопросов. Но оказывается, что изготовить трансформатор не так уж и сложно, надо только знать некоторые секреты производства и придерживаться приведенных советов.

5.2.1. Трансформатор из штампованных пластин

Чтобы уменьшить потери на вихревые токи, сердечник *(магнитопровод)* трансформатора обычно выполняют из тонких штампованных металлических пластин, сложенных вместе. Пластины Ш-образной формы используются для изготовления *броневых магнитопроводов* (рис. 5.2а), а Г-образной – для *стержневых* (рис. 5.2б). Необходимая толщина набора, как правило, указывается в описании. Например, сказано, что нужно взять железо Ш20×15. Это значит, что ширина средней части Ш-образной пластины *y* должна быть 20 мм, а толщина

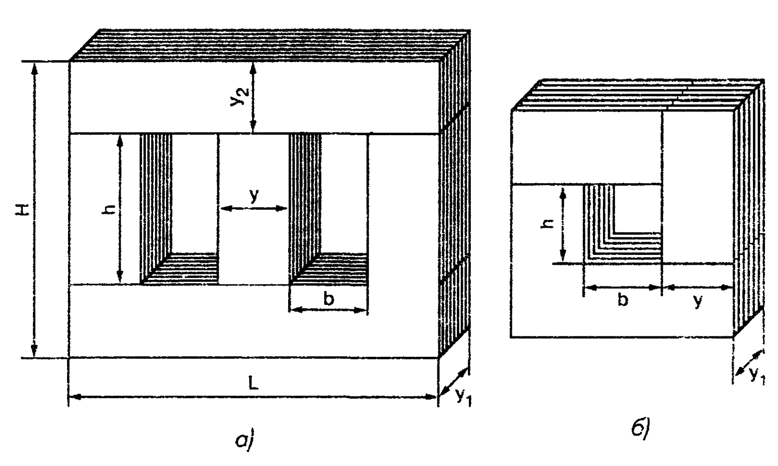


Рис. 5.2. Магнитопровод трансформатора из штампованных пластин: а – броневой; б – стержневой

стопки сложенных вместе пластин должна составлять y_1 = 15 мм. На среднюю часть сердечника из пластин надевают каркас с обмотками трансформатора и накладывают замыкающие пластины, чтобы в итоге получился замкнутый магнитопровод. Такова простейшая конструкция трансформатора.

Размеры нормализованных броневых магнитопроводов из штампованных пластин приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Размеры нормализованных броневых магнитопроводов из штампованных пластин

Тип	y, мм	y_1, мм	b, мм	h, мм	L, мм	H, мм	Средняя длина магнитной линии, см
Ш	9	9; 12	9	22,5	36	31,5	7,72
	12	10; 12; 16; 20; 25; 32	12	30	48	42	10,0
	16	10; 12; 16; 20; 25; 32; 40	16	40	64	56	13,7
	20	12; 16; 20; 25; 32; 40; 50	20	50	80	70	17,4
	25	16; 20; 25; 32; 40; 50; 64	25	62,5	100	87,5	21,4
	32	20; 25; 32; 40; 50; 64; 80	32	80	123	112	27,4
	40	25; 32; 40; 50; 64; 80; 100	40	100	160	140	34,3
ША	5	6,3; 10	5	12,5	20	17,5	4,3
	6	8; 12,5	6	15	24	21	5,2
	8	10; 16	8	20	32	28	6,3
	10	16; 20	10	25	40	35	8,6
	12	25	12	30	48	42	10,3
ШВ	3	4; 6,3	3,5	8	14	12	2,8
	4	4; 8	5	10	20	15	3,4

Преимущество магнитопроводов, набираемых из пластин, заключается в том, что их можно изготовить из любых, даже очень хрупких материалов. В броневом сердечнике обмотки располагаются на центральном стержне, что упрощает конструкцию, обеспечивает более полное использование окна и частично создает защиту обмотки от механических воздействий. Недостатком же такого трансформатора является повышенная чувствительность к воздействию магнитных полей низкой частоты. Это ограничивает применение броневых магнитопроводов, в частности, в устройстве входных трансформаторов.

В стержневых магнитопроводах обмотки располагаются на двух стержнях. При этом уменьшается толщина намотки и, следовательно, индуктивность рассеяния трансформатора. Кроме того, сокращается расход провода и увеличивается поверхность охлаждения, что важно для мощных трансформаторов. Поэтому стержневые магнитопроводы чаще всего входят в состав мощных выходных трансформаторов, а также входных трансформаторов высокочувствительных усилителей.

При изготовлении магнитопроводов к Ш-образным пластинам добавляют перемычки. Чтобы ликвидировать зазор между пластинами и перемычками, магнитопровод собирают «вперемежку». В магнитопроводах трансформаторов и дросселей, по которым протекает постоянный ток (например, дросселей фильтра питания), делают немагнитный зазор. В этом случае пластины собирают в одну сторону. Между пакетами пластин и перемычек помещают прокладку из листового электроизоляционного материала необходимой толщины.

Для уменьшения потерь на вихревые токи пластины дополнительно изолируют тонким слоем лака (с одной стороны) или окисла, который образуется при отжиге.

После сборки магнитопровод стягивают планками или уголками при помощи шпилек с гайками либо специальными обжимками. Шпильки должны быть изолированы от пластин. Стяжные планки, уголки или обжимки служат одновременно для крепления трансформатора на шасси.

5.2.2. Ленточные трансформаторы

Витые *(ленточные)* магнитопроводы трансформаторов навивают из полос электротехнической стали или железо-никелевых сплавов (рис. 5.3).

В устройстве таких магнитопроводов допускаются материалы различной толщины (до нескольких микрометров), что позволяет применять их для трансформаторов при повышенных частотах. Они эффективнее, чем пластинчатые магнитопроводы, используют магнитные свойства материалов (особенно холоднокатаных сталей), а также отличаются несколько повышенными потерями и наличием воздушного зазора в стыках (5–40 мкм). Кроме того, следует отметить меньшую стоимость изготовления. Особенности применения броневых ленточных магнитопроводов такие же, как и броневых Ш-образных.

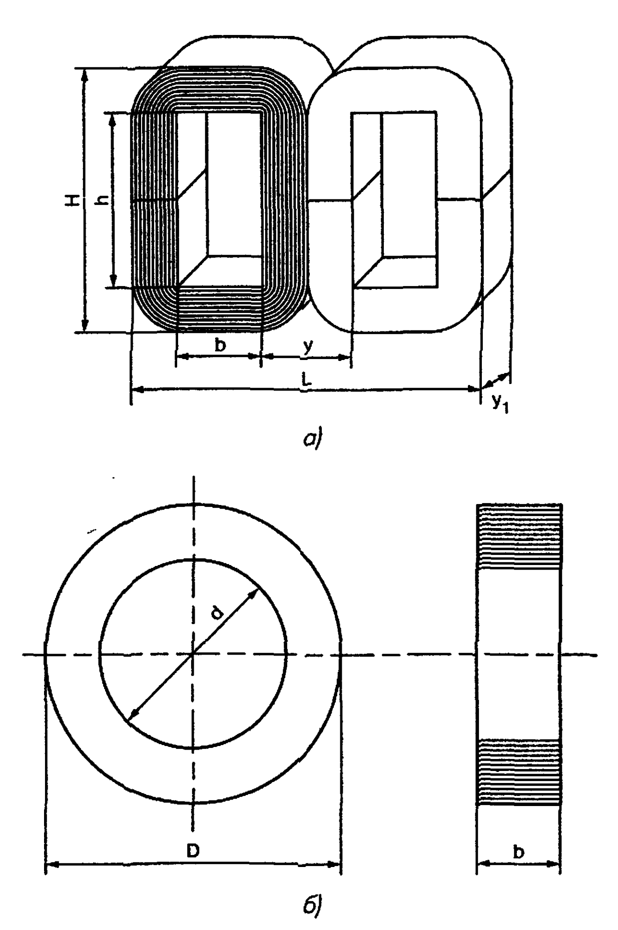


Рис. 5.3. Витые (ленточные) магнитопроводы: а – броневой и кольцевой; б – тороидальный

Тороидальные (кольцевые) магнитопроводы позволяют наиболее полно использовать магнитные свойства материала, обеспечивают слабое внешнее магнитное поле трансформатора, однако применяются сравнительно редко из-за сложности намотки.

Размеры нормализованных ленточных броневых магнитопроводов приведены в табл. 5.3, а ленточных кольцевых (тороидальных) – в табл. 5.4. Типоразмер ленточного броневого магнитопровода обозначается так же, как и пластинчатого, например

ШЛ12×16. Обозначение тороидального магнитопровода несколько иное, например ОЛ20/32–16, где 20 – внутренний диаметр *d*, 32 – внешний диаметр *D*, 16 – ширина ленты *b*.

Таблица 5.3. Размеры нормализованных ленточных броневых магнитопроводов

Тип	*у*, мм	y_1, мм	*b*, мм	*h*, мм	*L*, мм	*H*, мм	Средняя длина магнитной линии, см
ШЛ	4	4; 5; 6,5; 8	4	10	16	14	3,4
	5	5; 6,5; 8; 10	5	12	20	17	4,2
	6	6,5; 8; 10; 12,5	6	15	24	21	5,1
	8	8; 10; 12,5; 16	8	20	32	28	6,8
	10	10; 12,5; 16; 20	10	25	40	35	8,5
	12	12,5; 16; 20;25	12	30	48	42	10,2
	16	16; 20; 25; 32	16	40	64	56	13,6
	20	20; 25; 32; 40	20	50	80	70	17,1
	25	25; 32; 40; 50	25	62,5	100	87,5	21,3
	32	32; 40; 50; 64	32	80	128	112	27,3
	40	40; 50; 64; 80	40	100	160	140	34,2
ШЛМ	8	8; 10; 12,5; 16	5	14	26	22	5,0
	10	10; 12,5; 16; 20	6	18	32	28	6,4
	12	12,5; 16; 20;25	8	23	40	35	8,1
	16	16; 20; 25; 32	10	26	52	42	9,7
	20	20; 25; 32; 40	12	36	64	56	12,7
	25	25; 32; 40; 50	15	45	80	70	16,0
ШЛО	4	5; 6,5; 8; 10	5	13	18	17	4,4
	5	5; 6,5; 8; 10	6,2	16	22,4	21	5,6
	6	6,5; 8; 10; 12,5	7,5	23	27	29	7,3
	8	8; 10; 12,5; 16	10	27	36	35	9,6
	10	10; 12,5; 16; 20	12,5	32	45	42	11,0
	12	12,5; 16; 20;25	20	44	65	57	14,7
	16	16; 20; 25; 32	24	64	81	71	18,1

5.2.3. Ферритовые трансформаторы

Ферритовые трансформаторы изготавливаются из магнитно-мягких ферритов и представляют собой Ш-образные или кольцевые магнитопроводы (рис. 5.4).

Размеры Ш-образных магнитопроводов из феррита приведены в табл. 5.5, а кольцевых – в табл. 5.6. Следует учесть, что ферритовый Ш-образный трансформатор составляется из двух одинаковых частей (магнитопроводов). Обозначение типоразмера Ш-образного сердечника имеет вид Ш*c*×*f*, а кольцевого – К*D*×*d*×*h* (размеры указаны в миллиметрах).

Таблица 5.4. Размеры нормализованных ленточных кольцевых магнитопроводов

Тип	*d*, мм	*D*, мм	*b*, мм	Средняя длина магнитной линии, см
ОЛ	10	16	4; 5; 6,5; 8	4
	12	20	5; 6,5; 8; 10	5
	16	26	6,5; 8; 10; 12,5	6,5
	20	32	8; 10; 12,5; 16	8,1
	25	40	10; 12,5; 16; 20; 25	10,2
	32	50	16; 20; 25; 32	12,8
	40	64	20; 25; 32; 40	16,3
	50	80	25; 32; 40; 50	20,4
	64	100	32; 40; 50; 64	25,8
	80	128	40; 50; 64; 80	32,6

Таблица 5.5. Номинальные размеры Ш-образных магнитопроводов из феррита

Типоразмер	*a*, мм	*b*, мм	*c*, мм	*d*, мм	*e*, мм	*f*, мм	Средняя длина магнитной линии, см	Площадь окна, см^2	Марки феррита
Ш2,5×2,5	10	6,5	2,5	3,3	5	2,5	3,3	0,13	4000НМ
Ш3×3	12	8	3	4	6	3	4	0,2	2000НМ
Ш4×4	16	10,4	4	5,2	8	4	5,2	0,33	2000НМ1
Ш5×5	20	13	5	6,5	10	5	6,6	0,52	700НМ
Ш6×6	24	16	6	8	12	6	8	0,8	600НН
Ш7×7	30	19	7	9,5	15	7	9,5	1,14	4000НМ
Ш8×8	32	23	8	11,5	16	8	11	1,72	2000НМ
Ш10×10	36	26	10	13	18	10	12	2,1	2000НМ1 600НН
Ш12×15	42	30	12	15	21	15	14	2,7	2000НМ
Ш16×20	54	38	16	19	27	20	18	4,2	2000НМ
Ш20×28	65	44	20	22	32	28	21	5,3	2000НМ1

5.2.4. Каркас трансформатора

Рассмотрим подробнее сам процесс изготовления трансформатора из магнитопровода с Ш-образными пластинами. Выбрав нужный типоразмер, приступают к созданию *каркаса*. Его можно склеить из электрокартона, но значительно прочнее сборный каркас из текстолита или гетинакса. (Если в качестве заготовки вы используете негодную печатную плату, то обязательно удалите с нее медную фольгу.) По известным размерам сердечника и

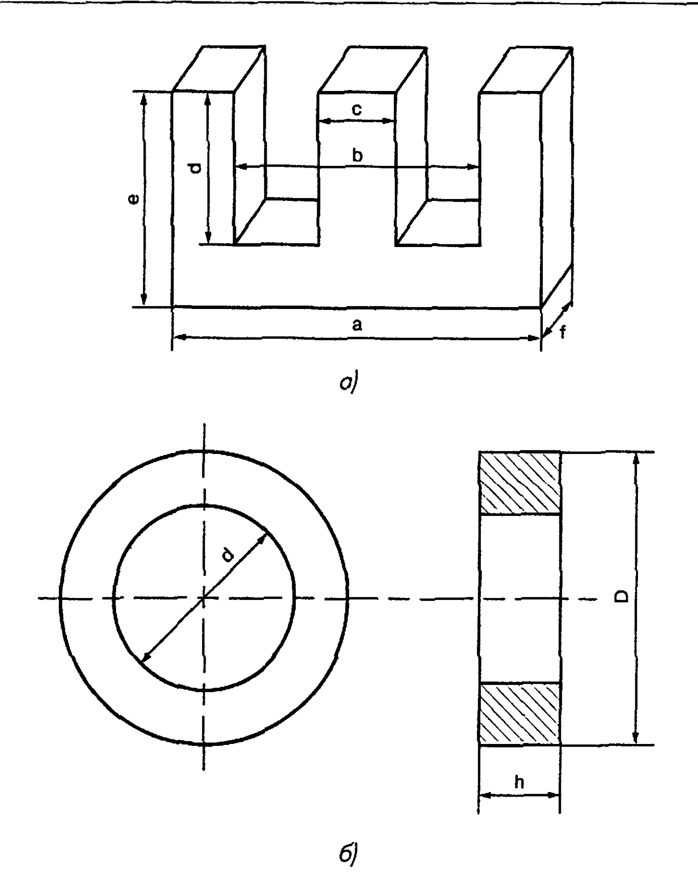


Рис. 5.4. Ферритовые магнитопроводы:
а – Ш-образный и кольцевой; б – тороидальный

толщине картона на листе бумаги нарисуйте эскизы деталей каркаса (рис. 5.5) и проставьте на них полученные размеры. Размер *d* – толщина материала.

Каркас состоит из двух *щечек* и четырех *пластин* (в первом варианте две пластины 1 и две пластины 2, во втором – две пластины 3 и две пластины 4). Указанные варианты принципиальных отличий не имеют, немного разнятся только конфигурации пластин.

Затем размеры с эскиза перенесите на лист материала. Если толщина материала позволяет, детали можно вырезать ножницами, а затем напильником пропилить в них пазы. В щечках

каркаса просверлите отверстия для выводов, а после этого выпилите окна. Отверстия нужно делать только на той щечке, которая после сборки трансформатора будет снаружи.

Таблица 5.6. Номинальные размеры кольцевых магнитопроводов из низкочастотных (марганцево-цинковых) ферритов

Типоразмер	Средняя длина пути магнитной линии, мм	Площадь поперечного сечения, мм²	Площадь окна, мм²
К4,0×2,5×1,2*	9,84	0,88	4,91
К5,0×2,0×1,5**	9,6	2,1	3,14
К5,0×3,0×1,5*	12,04	1,47	7,07
К7,0×4,0×1,5	16,41	2,19	12,57
К7,0×4,0×2,0*	16,41	2,92	12,57
К10,0×6,0×2,0	24,07	3,91	28,27
К10,0×6,0×3,0*	24,07	5,87	28,27
К10,0×6,0×4,5	24,07	8,81	28,27
К12,0×5,0×5,5	23,57	18,07	19,63
К12,0×8,0×3,0	30,57	5,92	50,27
К16,0×8,0×6,0	34,84	23,06	50,27
К16,0×10,0×4,5*	39,37	13,25	78,54
К17,5×8,2×5,0	36,75	22,17	52,81
К20,0×10,0×5,0	43,55	24,02	78,54
К20,0×12,0×6,0*	48,14	23,48	113,09
К28×16×9*	65,64	52,61	201,06
К31×18,5×7	74,41	42,79	268,8
К32×16×8	69,68	61,5	201,06
К32×16×12**	69,68	92,25	201,06
К32×20×6	78,75	35,34	314,15
К32×20×9*	78,75	53,02	314,15
К38×24×7	94,04	48,15	452,38
К40×25×7,5	98,64	55,23	490,87
К40×25×11*	98,64	81,11	490,87
К45×28×8	110,47	66,74	615,75
К45×28×12**	110,47	97,83	615,75

Примечания к табл. Сердечники из феррита марки 700НМ изготавливаются с наружным диаметром 5–20 мм.

* Данные сердечники производятся также из феррита марки 10000НМ.

** Сердечники из феррита марок 1000НМ, 1500НМ, 2000НМ, 3000НМ, 4000НМ, 6000НМ, 10000НМ не изготавливаются.

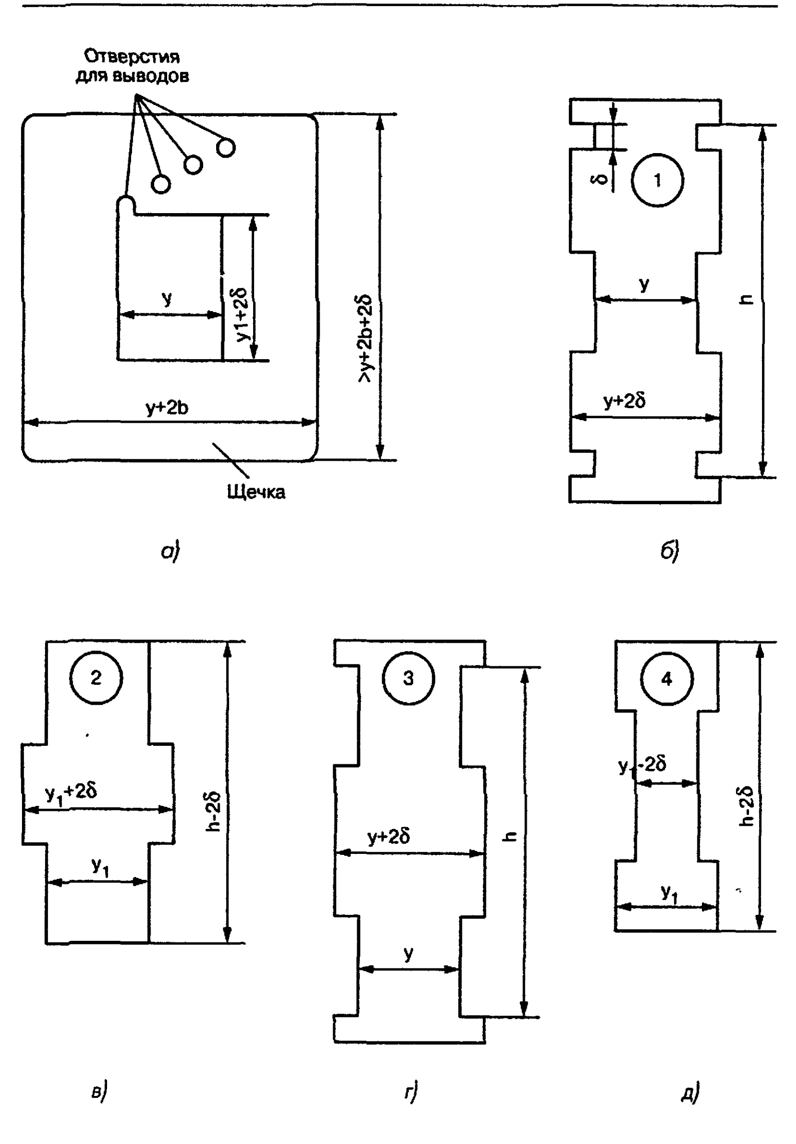


Рис. 5.5. Детали каркаса катушки: а – щечки; б – пластина 1; в – пластина 2; г – пластина 3; д – пластина 4

Готовые детали расположите на столе и подгоните стороны пластин 1 и 2 (или 3 и 4) так, чтобы сошлись все пропилы и выступы «замка». Чтобы не спутать детали при сборке каркаса, пронумеруйте их. Порядок сборки каркаса следующий. Вставьте в отверстие первой щечки одну из сторон пластины 1 (3). Другую сторону пластины вставьте в отверстие второй щечки. Аналогичным образом расположите вторую пластину 1 (3) с противоположной стороны отверстия щечек. Укрепите две пластины 2 (4) в пропилы пластин 1 (3). Пропилы пластин сойдутся, и гильза каркаса окажется прочно собранной. Каркас готов. Закруглите напильником углы гильзы и щечек, снимите заусеницы. Углы гильзы желательно промазать клеем.

5.2.5. Обмотка трансформатора

Обмотки трансформаторов разделяют на цилиндрические и галетные. *Цилиндрическая обмотка* (рис. 5.6а) проще в изготовлении. При намотке на каркас провод может укладываться слоями

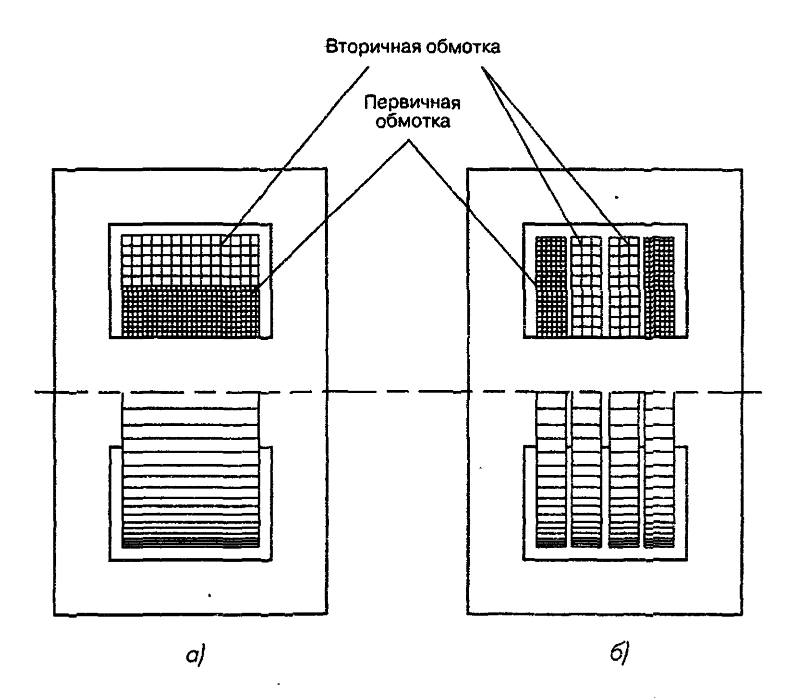


Рис. 5.6. Обмотка трансформатора: а — цилиндрическая; б — галетная

(виток к витку) или беспорядочно (внавал). Первый способ применяется, когда необходима высокая электрическая прочность обмотки, например в трансформаторах питания.

Чтобы увеличить электрическую прочность, используют межслойную изоляцию. Для прокладок между рядами витков подойдет тонкая плотная бумага, например калька, конденсаторная или папиросная бумага. Обмотки желательно изолировать лакотканью, фторопластом, плотной кабельной либо оберточной бумагой.

Изготовление *изоляционных полос* начните с измерения расстояния между щечками готового каркаса. Чтобы крайние витки обмоток не заваливались между краями полос и щечками, увеличьте этот размер на 4–6 мм, а края надрежьте ножницами (рис. 5.7). По длине полосы должны быть такими, чтобы их хватило на один оборот вокруг обмотки, а края полос перекрывались на 30–40 мм.

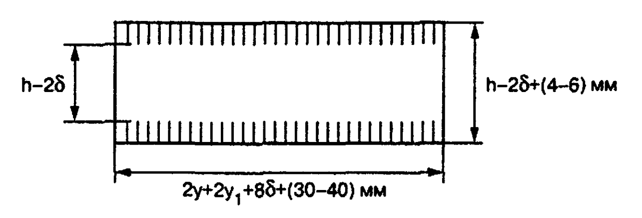


Рис. 5.7. Заготовка изоляционной полосы

В согласующих трансформаторах допускается намотка внавал без межслойной изоляции. При такой намотке собственная емкость трансформатора уменьшается.

Если обмотка должна быть симметричной, ее разделяют на две равные части, которые наматываются в разные стороны в виде отдельных секций. Общей (средней) точкой является соединение концов или начал полуобмоток. При малых напряжениях симметричную обмотку можно выполнять двумя проводами, сложенными вместе.

Галетная обмотка (рис. 5.6б) сложнее в изготовлении, но отличается более высокой электрической прочностью, меньшей собственной емкостью и индуктивностью рассеяния. Кроме того, при необходимости ее можно отремонтировать, заменив

галеты. Для намотки галет используют специальные оправки, состоящие из гильзы и двух щечек с радиальными прорезями (они чем-то напоминают каркас для намотки катушек, только с меньшим размером h). Перед намоткой в прорези вкладываются отрезки прочных ниток, которыми скрепляются витки после намотки галеты.

Симметричность галетной обмотки достигается разделением ее на две части, которые наматываются и соединяются так же, как и в случае цилиндрической обмотки.

При намотке трансформатора необходимо изолировать выводы, места паек и отводы обмоток, для чего потребуются отрезки ПВХ трубок (*«кембрики»*) и кусочки изоленты или лакоткани. Для намотки катушки трансформатора можно использовать различные приспособления, удерживающие каркас (см. ниже).

Выводы обмоток выполняют тем же проводом, что и саму обмотку (если диаметр провода не очень мал), или же используют отрезок гибкого многожильного монтажного провода в изоляции. Для этого зачистите и облудите конец провода и подпаяйте его к зачищенному концу (началу) обмоточного провода. Затем место соединения закройте изолирующей накладкой. Чтобы повысить надежность соединения, необходимо выполнить плавный переход жесткости от места пайки к выводу, исключить соприкосновение места пайки с химически активными материалами и обеспечить его защиту от воздействия влаги.

Далее выводной провод проденьте через отверстие в щечке и закрутите вокруг прута намоточного приспособления. Это нужно для того, чтобы вывод не мешал при намотке. Придерживая левой рукой обмоточный провод, правой вращайте ручку намоточного устройства. Старайтесь укладывать провод виток к витку. Намотав один ряд, оберните его слоем тонкой изоляционной бумаги и приступайте к следующему ряду. Если трансформатор малогабаритный, а витков много, достаточно установить прокладки через определенное число витков, скажем, 500. Намотку в этом случае ведут внавал, равномерно распределяя витки по ширине каркаса.

Если от части обмотки требуется сделать *отвод*, поступите следующим образом. В месте отвода зачистите обмоточный

провод на длину 3–5 мм и припаяйте к нему конец выводного провода. Затем возьмите бумажную полоску с отверстием в середине, согните ее вдоль пополам и пропустите в ее отверстие выводной провод. Полоску разместите вдоль каркаса, а между выводным проводом и витками обмотки положите кусочек изолирующей бумажной полоски и продолжайте намотку. Как уже говорилось, если для обмотки используется толстый провод, он же может служить и выводным. В этом случае начало и конец обмотки выводите непосредственно этим проводом.

Особое внимание следует уделить изоляции между *сетевой* (первичной) и *понижающей* (вторичной) обмотками. При намотке понижающей обмотки поверх сетевой нужно проложить 2–3 слоя хорошей изоляционной бумаги или лакоткани. Сначала всегда выполняют сетевую обмотку и только затем понижающую. Поверх последней обмотки (если их несколько) укладывают 1–2 слоя изоляционной бумаги.

Теперь трансформатор можно собрать. Положите каркас на стол выводами вниз. Пластины сердечника соберите вперемежку: одну пластину вставляйте в каркас с правой стороны, другую – с левой и т.д. Соответственно чередуются и замыкающие пластины. Все пластины устанавливайте лакированной поверхностью в одну сторону. Последние пластины, если они входят туго, забейте легкими ударами киянки (или обычного молотка через деревянную прокладку). Затем, поставив трансформатор на ровную дощечку, молотком осторожно подравняйте сердечник, поворачивая его разными сторонами. Теперь осталось только изготовить из металлической полоски обойму (рис. 5.8), которой необходимо обжать магнитопровод трансформатора.

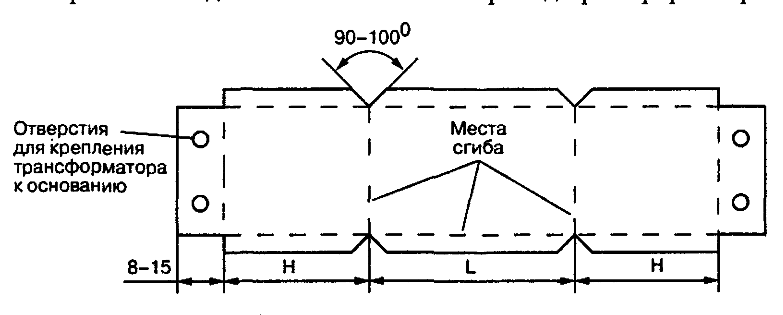


Рис. 5.8. Обойма для крепления трансформатора

Аналогично изготавливается трансформатор с другим магнитопроводом. Исключение составляют тороидальные трансформаторы. Каркас для обмотки в этом случае не применяется. Намотка катушек требует определенного опыта и сноровки, а также огромного терпения и внимательности, ведь весь цикл намотки придется проделать вручную.

Для защиты трансформаторов от воздействия внешней среды обмотки иногда пропитывают изоляционными материалами (пропиточными лаками). Кроме того, трансформаторы обволакивают компаундами или герметизируют.

5.2.6. Намоточные станки

При изготовлении трансформаторов наибольшую трудность вызывает устройство обмоток. *Простой намоточный станок* (см. рис. 5.9) позволяет наматывать на катушки провод диаметром 0,1–1,5 мм виток к витку или в навал с подсчетом количества витков.

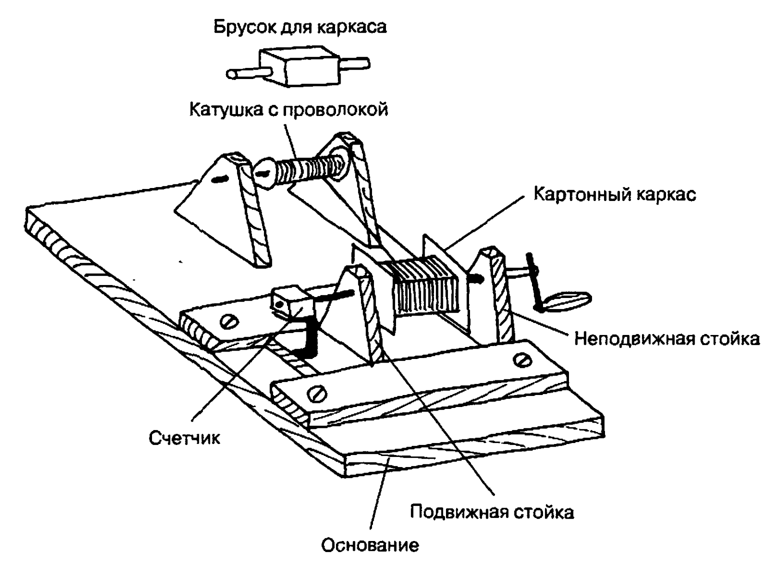


Рис. 5.9. Простой намоточный станок

На деревянном основании укрепляют шурупами два направляющих бруска с фасками под углом в 45°. Между ними устанавливают деревянные стойки, одна из которых подвижная,

другая – нет. Между стойками помещается брусок с каркасом для намотки провода. Его размер должен соответствовать размеру каркаса катушки. С одной стороны на ось бруска надевают и закрепляют винтом ручку для вращения, а с другой подсоединяют счетчик для подсчета количества витков провода (счетный механизм можно взять от старого электросчетчика). Во время работы намоточный станок крепят к столу струбциной или винтом.

Приспособление для намотки катушек на базе точильного станка. Для намотки катушек можно приспособить точильный станок, снабдив его специальной оправкой, навинчиваемой на валик точильного круга вместо крепежной гайки. Если намоточными работами приходится заниматься часто, то целесообразно изготовить универсальную оправку, состоящую из двух одинаковых частей в виде усеченных пирамидок.

Приспособление для намотки катушек на базе ручной дрели. Для намотки высокочастотных катушек, дросселей и малогабаритных трансформаторов в домашних условиях можно приспособить и обычную ручную дрель, зажатую в тиски.

Станок для намотки тороидальных трансформаторов используется не так часто, как предыдущие приспособления. К тому же его изготовление требует большого терпения и хороших навыков в слесарном деле. Проще отыскать нужный тороидальный трансформатор в магазине или на рынке. Но если у вас все же есть желание сделать такой станок, то его подробное описание можно найти, например, в статье А. Гвозденко «Станок для намотки тороидальных трансформаторов» (журнал «Радио», 1987 г., № 8).

5.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА

Выбрать подходящий корпус для размещения изготовленной радиолюбительской конструкции особой сложности не представляет, если до ближайшего радиомагазина рукой подать. Можно воспользоваться, например, готовыми корпусами. Они подойдут для большинства небольших приборов. Однако в ряде случаев радиолюбитель вынужден самостоятельно изготовить корпус для своего творения. Приведенные ниже советы помогут вам выбрать подходящее решение.

5.3.1. Металлический корпус

Изготовление металлических корпусов для радиоэлектронных устройств, измерительных приборов и т.д. связано с определенными трудностями. Между тем существует метод конструирования корпусов, позволяющий простыми средствами добиться выразительной формы. Такие корпуса не требуют сварки и пайки, а число соединительных винтов минимально. Корпус состоит всего из двух однотипных П-образных деталей. Одну из них, выполняющую функцию несущей, изготавливают из более толстого материала, чем другую, служащую крышкой. Лучшим материалом считается алюминиевый сплав, который обладает высокой жесткостью и в то же время хорошо гнется. Детали корпуса соединяют при помощи винтов, которые ввинчивают в резьбовые отверстия уголков, прикрепленных с помощью заклепок к несущей детали.

Для крепления деталей широко используют винты, шпильки, заклепки и другой крепежный материал. Производя сборку конструкции, следует иметь в виду, что некоторые металлы несовместимы: в месте их касания при попадании влаги образуются гальванические пары, вызывающие усиленную коррозию, что, естественно, ослабляет механическую прочность и нарушает электрические контакты. Поэтому шасси и заклепки, например, для крепления электрорадиоэлементов рекомендуется делать из однородных или совместимых металлов. В табл. 5.7 указаны параметры совместимости различных металлов.

Эффектный вид корпус приобретает после оклеивания его кожей, текстовинилом или любым подобным коже материалом. Чтобы создать впечатление объемности и несколько смягчить прямоугольные формы, под кожу или ее заменитель можно подложить листовой поролон толщиной 2–4 мм. В этом случае кромку панели необходимо окантовать хромированным полированным профилем на аккуратных заклепках.

Однако чаще всего корпус окрашивают. Чтобы краска прочно и долго держалась, металлическую поверхность необходимо *обезжирить*. Сильно загрязненные детали можно промыть в керосине или скипидаре. Затем операцию повторяют, используя технический бензин или бензол, ксилол или толуол. Окончательное обезжиривание достигается при промывке в чистом бензине, трихлорэтилене или других растворителях. Недостатком

применения этих веществ является их огне- и взрывоопасность (бензин, бензол, ксилол и толуол) и ядовитость паров (трихлорэтилен, бензин, бензол, ксилол и толуол). Поэтому с ними разрешается работать только в хорошо проветриваемых помещениях.

Таблица 5.7. Параметры совместимости металлов

Металл	Алюминий	Бронза	Дюралюминий	Латунь	Медь	Никель	Олово	Припой ПОС	Сталь нелегированная	Хром	Цинк
Алюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С
Бронза	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Дюралюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С
Латунь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Медь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Никель	Н	С	Н	С	С	С	П	П	С	–	С
Олово	Н	П	Н	П	П	П	С	С	С	–	С
Припой ПОС	Н	П	Н	П	П	П	С	С	С	–	С
Сталь нелегированная	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С
Хром	Н	С	Н	С	С	–	–	–	С	С	С
Цинк	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С

Примечание к табл. С – совместимые пары; Н – несовместимые пары; П – совместимые при пайке, но несовместимые при непосредственном прикосновении.

В настоящее время в промышленности для этих целей широко применяются фреоны. В отличие от вышеуказанных веществ фреон не взрывоопасен, не ядовит, не разрушает пластмассы и лакокрасочные покрытия. Однако из-за высокой стоимости это вещество не находит широкого применения среди радиолюбителей.

Если под рукой нет никаких растворителей, то обезжиривание можно провести с помощью обычного хозяйственного мыла или стирального порошка, тщательно протерев в растворе деталь жесткой щеткой в течение 10 мин.

Чтобы *устранить мелкие царапины на поверхности и придать детали хороший внешний вид*, металл *полируют*. Для этого существуют различные полировочные пасты.

Детали или изделия из алюминия и его сплавов на воздухе окисляются, и на их поверхности образуются неравномерные

пятна сероватого налета, портящие внешний вид. Для защиты поверхности алюминиевых деталей обычно используется *анодирование*, то есть анодное оксидирование поверхности, в результате которого на ней образуется тонкий активный слой, препятствующий дальнейшей более глубокой коррозии. После анодирования поверхность чистого алюминия остается блестящей, а некоторые алюминиевые сплавы приобретают матовый темный или бледно-серый оттенок (это зависит от электрического режима анодирования). После анодирования алюминиевые изделия легко окрасить практически в любой цвет обычными анилиновыми красителями. Для этого их погружают в нагретый до температуры 50–60 °С 10-процентный раствор *анилинового красителя*, который следует предварительно профильтровать, так как нерастворившиеся крупинки образуют пятна на поверхности окрашенного металла и портят вид. Анилиновые красители (порошки для окраски шерстяных тканей) свободно продаются в магазинах хозтоваров или бытовой химии. Насыщенность окраски зависит от времени пребывания детали в красителе, которое тем не менее не должно превышать 15–20 мин. После окраски деталь промывают в проточной воде, высушивают и покрывают бесцветным лаком.

Совет. *Использовать в окраске корпуса более трех цветов нежелательно – это создает излишнюю пестроту. Хорошо смотрится устройство, в котором элементы управления и панели корпуса окрашены в сочетающиеся тона.*

Если на анодированную поверхность нанести оксидную пленку, то процесс окрашивания станет проще. Для этого алюминиевую деталь помещают на 10 мин в специальный раствор, нагретый до 80 °С. Затем деталь надо тщательно промыть в проточной воде.

Отделка алюминиевой поверхности под перламутр. Алюминий зачищают металлической щеткой, делая небольшие штрихи в разных направлениях (создавая определенный рисунок). Стружку и грязь удаляют с поверхности чистой ветошью.

Матирование панели из дюралюминия. При механической обработке лицевой панели прибора обычно не удается полностью

избавиться от мелких царапин и шерсховатостей, оставшихся после шлифования даже мелкозернистой наждачной бумагой. Чтобы придать панели красивый матовый молочный цвет, необходимо отшлифованную поверхность обработать раствором щелочи.

Следует иметь в виду, что матовый слой весьма тонок и непрочен и легко разрушается даже от соприкосновения с металлическими предметами. Поэтому его необходимо защищать слоем бесцветного или подкрашенного лака, например мебельного нитролака.

Чтобы придать стальным изделиям красивый вид и предохранить их от коррозии, металл часто покрывают серебристой краской – лаком с алюминиевым порошком.

В ремонтной и радиолюбительской практике металлические изделия, панели и корпуса радиоэлектронных устройств иногда удобнее окрашивать глифталевыми, пентафталевыми или нитроэмалями. Наносить краску на металл без предварительного грунтования не следует, так как сцепление (адгезия) ее с металлом недостаточно прочная. В качестве своеобразного грунта можно применить уксусную эссенцию, которой протирают хорошо зачищенную и обезжиренную деталь. На такой «грунт» хорошо ложатся все виды красок, лаков и эмалей.

5.3.2. Работа с органическим стеклом

Резать листы органического стекла удобно с помощью специального ножа-резака, изготовленного из старого ножовочного полотна.

При сверлении органического стекла необходимо иметь в виду, что сверло «вязнет» и застревает в материале. Чтобы избежать этого, необходимо применять сверла, отвечающие следующим техническим требованиям: угол подъема канавки – 17°, угол заострения – 70°, угол задней заточки – 4–8°. Обычные стандартные сверла из быстрорежущей стали могут применяться при сверлении отверстий диаметром 4–5 мм.

Во многих случаях изделия из органического стекла состоят из отдельных деталей, которые при монтаже склеивают, применяя клеи, представляющие собой раствор стружек или опилок оргстекла в каком-либо растворителе. Ниже приведено несколько подобных рецептов:

- раствор органического стекла (0,5–1,5%) в дихлорэтане;
- раствор органического стекла (0,5%) в смеси ацетона (60%) и уксусной эссенции (40%);
- раствор органического стекла (3–5%) в ледяной уксусной или муравьиной кислоте;
- раствор органического стекла в смеси ацетона (60%) и этилацетата (40%). При склеивании детали нагревают до 400 °С.

Клей готовится следующим образом: в 100 г дихлорэтана при интенсивном помешивании растворяют 2–5 г стружек или опилок оргстекла при комнатной температуре в течение 25–30 мин до получения прозрачного сиропа. Затем раствор оставляют для дальнейшего набухания стружки. Чтобы ускорить процесс, состав периодически перемешивают. После приготовления клей выдерживают не менее 2–3 суток. Раствор наносят на обе склеиваемые поверхности равномерным движением кисти в одну сторону. Необходимо следить за тем, чтобы не было непромазанных участков и пузырьков воздуха.

Клей хранят в стеклянной посуде с притертой пробкой при температуре 18–20 °С, но целесообразнее готовить его в небольших количествах для разового применения.

Наилучшие результаты достигаются при использовании клея, изготовленного на основе муравьиной кислоты, так как опилки плексигласа растворяются в ней за несколько минут, а схватывание при склеивании под давлением происходит в течение 10 мин.

Совет. *Склеивать органическое стекло следует под вытяжкой или на открытом воздухе, так как пары дихлорэтана вредны!*

5.3.3. Корпус из эпоксидной смолы

При конструировании различных устройств часто приходится изготавливать корпуса и футляры. Как правило, их делают из оргстекла или пластмасс, но из эпоксидной смолы методом литья в форму получаются более надежные изделия. Это объясняется высокими конструктивными качествами, стойкостью к воздействию тепла и агрессивных химических компонентов, технологичностью использования.

Рассмотрим технологию изготовления корпуса для измерительного прибора методом литья. Лучшим материалом для выполнения формы является оргстекло, так как оно легко обрабатывается.

Совет. *При работе со смолой нужно соблюдать некоторые меры предосторожности. Необходимо следить, чтобы она не попала на кожу. Если это произойдет, смолу необходимо смыть толуолом, а затем водой с мылом.*

Радиолюбители нередко испытывают затруднения при изготовлении корпусов, особенно если конструкции предстоит работать в тяжелых условиях, например под капотом автомобиля. Если устройство имеет сравнительно небольшие размеры, можно рекомендовать полную заливку конструкции эпоксидным клеем с наполнителем. Готовое изделие в этом случае представляет собой прямоугольный кирпичик из эпоксидной смолы с гладкими гранями.

Для заливки нужно изготовить форму из оргстекла, полистирола, дюралюминия или, например, вылепить из пластилина. В форму наливается клей. Затем туда погружается сама плата, выключатели и переменные резисторы так, чтобы их ручки оставались на поверхности. Кроме того, нужно исключить попадание клея внутрь выключателя или резистора. Для этого надо замазать все щели пластилином или заклеить клеем «Момент» или другим подобным. Красители, подмешанные в состав клея, придадут корпусу эстетический вид. Однако следует учесть, что отремонтировать такое «замурованное» устройство невозможно, поэтому этот метод требует точности и определенных практических навыков.

Плату под заливку следует изготовить таким образом, чтобы она удовлетворяла двум требованиям. Во-первых, она должна иметь припуски по длине с обеих сторон для крепления готового устройства. Во-вторых, монтаж на плате должен быть «поверхностным», то есть детали монтируют со стороны печатных дорожек, припаивая выводы к фольге. Никаких отверстий под выводы не предусматривается. Таким образом, у готового устройства пять граней эпоксидные, а шестая представляет собой

наружную сторону платы. Но если по углам платы приклеить шайбы толщиной 3–5 мм, то клей проникнет и под саму плату.

Выводы изготавливают из гибкого провода в ПВХ изоляции (или лучше в полиэтиленовой). Перед заливкой их пропускают через отверстия в стенке формы или выводят сверху. Светодиодные цифровые индикаторы можно установить вплотную к одной из стенок формы, перед заливкой их лицевую поверхность целесообразно покрыть тонким слоем эпоксидного клея без наполнителя.

При отвердении эпоксидная смола дает некоторую усадку, в результате чего на поверхности изделия, как правило, в середине той грани, которая была обращена вверх, могут образоваться небольшие углубления – раковины. Уменьшению усадки способствует введение в смолу наполнителя. Рекомендуется использовать порошкообразную окись алюминия. Удовлетворительные результаты дает применение талька или хорошо высушенных порошков гипса, мела и др.

В чистой посуде готовят необходимое количество эпоксидного клея, добавляют в него наполнитель и тщательно перемешивают. Желательно, чтобы при этом не образовывалось слишком много пузырьков воздуха (пена потом может доставить много хлопот). Готовый компаунд должен иметь консистенцию очень густой сметаны. Смешивание клея ЭКФ с тальком после затвердевания дает непрозрачную заливку приятного серо-коричневого цвета, а из клея ЭДП получается полупрозрачная заливка красно-коричневого цвета. Для этого годится также эпоксидная шпатлевка без дополнительного наполнителя. Форму для затвердевания смолы оставляют в теплом месте не менее чем на 10 часов.

5.3.4. Деревянный корпус

Изготовление корпуса из древесины обычно не вызывает особых трудностей. Необходимо лишь учитывать область применения деревянных корпусов: акустические системы, радиоэлектронные приборы большого размера и т.д. Окрасить готовый деревянный корпус несложно.

Покрытие лаком – наиболее распространенный вид отделки древесины. Качество лаковой пленки зависит от марки выбранного лака, способа его нанесения и количества слоев.

Масляные лаки образуют наиболее прочные влагостойкие покрытия с сильным блеском, но их недостатком является длительная сушка (48 ч). Масляные лаки рекомендуются для всех видов древесины. Их наносят тампоном или кистью в 1–2 слоя.

Спиртовые лаки дают эластичную пленку с более мягким блеском, чем масляные, но менее водостойкую. Лучшими считаются лаки, приготовленные на основе шеллака. Они высыхают за 1–1,5 ч.

Нитролаки образуют относительно стойкую, с сильным блеском пленку, достаточно водостойкую, более прочную, чем слой спиртовых лаков, и высыхают за 15–25 мин. Нитролаки наносят на все породы древесины 3–5 раз, чаще всего с помощью кистей, а лучше путем распыления.

Перед покрытием лаком поверхность древесины механически обрабатывают (шлифуют) и грунтуют. Грунтовки по консистенции разделяются на жидкие и густые; первые применяются для грунтования мелкопористых пород древесины, вторые – крупнопористых.

В радиолюбительской практике часто приходится иметь дело с крупнопористыми породами дерева (бук, дуб и другие). Лучшим видом отделки такой древесины является *вощение*, то есть нанесение на поверхность древесины восковых вакс с последующей их полировкой. Красиво выглядят деревянные конструкции, в которых умело сочетаются вощеные и полированные детали. Восковые ваксы не требуют дополнительного грунтования, так как сами являются хорошими порозаполнителями и прочно держатся на поверхности древесины. Вощеная поверхность подчеркивает текстуру древесины, а мягкий и нежный блеск придает ей очень красивый вид.

Цвет и текстура древесины зависят, прежде всего, от ее породы. Однако цвет при необходимости можно изменить с помощью специальных красителей. Качество имитации зависит не только от красителей, но и от древесины, подвергшейся обработке. В настоящее время в продаже имеется множество различных легко проникающих в древесину декоративно-защитных покрытий и составов для имитации ценных пород дерева.

5.3.5. Окончательная отделка корпуса

При окончательной отделке конструкций многие радиолюбители используют переводной шрифт. Это не требует больших затрат труда и времени и дает хорошие результаты. Однако надписи, выполненные подобным образом, недостаточно стойки, и их необходимо защищать. Обычно их покрывают прозрачным защитным слоем лака. Данная операция требует тщательности и осторожности, так как многие лаки разрушают надпись.

Оригинальный вид радиолюбительским конструкциям придают светящиеся надписи и указатели. Предметы, покрытые светящимися красками, являются ориентирами в темном помещении, что обеспечивает экономию электроэнергии. А вообще, проявляйте больше фантазии при оформлении готового изделия!

При отделке изготовленного прибора необходимо учитывать особенности восприятия цвета человеком. Как известно, все цвета могут восприниматься как «теплые» или «холодные». Зрительно они могут приближать окрашенный предмет или отдалять его. Восприятие разных цветов приведено в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Восприятие цвета человеком

Цвет	Ощущение	Психологическое воздействие	Ощущение пространства
Теплые цвета			
Желтый	Тепла	Привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
Оранжевый	Тепла	Привлекает внимание	Приближает
Розовый	Тепла	Привлекает внимание (в меньшей степени)	Приближает
Красный	Жары	Выделяется, очень утомляет	Приближает
Коричневый	Тепла	Утомляет	Приближает
Холодные цвета			
Серый	Прохлады	В меньшей степени привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
Голубой	Холода	Не утомляет	Отдаляет
Зеленый	Прохлады	Не утомляет даже при длительном наблюдении	Отдаляет
Фиолетовый	Свежести	Дезинтегрирует, рассеивает внимание	Приближает

Выбирая цвет, в первую очередь руководствуйтесь своими ощущениями, но не забывайте основного правила: созданное устройство должно гармонировать с окружающими предметами, не выделяться из общей гаммы.

5.3.6. Несовместимость красок

Все компоненты краски – химические вещества. Металлы (медь, цинк, алюминий), входящие в их состав в виде пудры, препятствуют коррозии окрашиваемой металлической поверхности. Оксиды и соли металлов, вступая в реакцию со связующими компонентами, ускоряют образование пленки. Разнородные типы связующего вещества могут не совмещаться друг с другом. Кроме того, нельзя смешивать некоторые масляные краски, полученные на одном связующем, но на основе разных пигментов.

Несовместимость пигментов. При смешивании пигментов очень важно учитывать характер их взаимодействия. В случае несовместимости происходит разрушение пигментов и потеря антикоррозионных свойств. При смешивании красок, имеющих в составе несовместимые пигменты, полностью теряется их цвет.

Несовместимость связующих. Смешивать масляные краски можно только с масляными (на однородной основе), глифталевые – с глифталевыми, пентафталевые – с пентафталевыми, эпоксидные – с эпоксидными, битумные лаки – с асфальтовыми и каменноугольными лаками и т. д. Однако все масляные густотертые краски можно разводить только олифами и лаками, изготовленными на основе светлых искусственных и естественных смол, исключая асфальтовые и битумные смолы.

Несовместимость краски с материалом поверхности. На стальную поверхность можно наносить абсолютно любой грунт. Алюминиевую поверхность нельзя покрывать грунтом следующих типов: свинцовым (свинцовые белила, крон, сурик), железным суриком, ярь-медянкой и киноварью, на каких бы связующих они ни составлялись. Можно наносить фосфатирующие, глифталевые, акриловые и эпоксидные грунты.

В любом случае, приступая к работе с каким-либо грунтом, шпаклевкой или красителем, внимательно прочитайте на упаковке инструкцию по применению. Несоблюдение указанных правил может привести к порче материала, иногда безвозвратной.

5.3.7. Использование клеев

При изготовлении корпусов, ремонте разбитых пластмассовых деталей и приборов, для приклеивания выпавших стекол в измерительных приборах и в других случаях могут потребоваться клеи (табл. 5.9).

Таблица 5.9. Назначение клеев

Клеи	Склеиваемые материалы						
	Пластмасса	Стекло	Металл	Дерево	Картон	Кожа	Ткань
ПВА	–	+	–	+	+	+	+
Момент	–	+	+	+	–	+	–
Эпоксидный	–	+	+	+	–	–	–
БФ-2, БФ-4	+	+	+	+	–	+	–
БФ-6	–	–	–	–	–	–	+
88Н	–	–	+	–	–	–	–
Марс	–	–	–	+	+	+	–

Примечание к табл. Символ «+» означает, что клей склеивает данный материал.

6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

6.1. ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Покупая электрорадиоэлементы в магазине, радиолюбитель в какой-то мере застрахован от приобретения некачественных и неисправных компонентов. А вот работоспособность деталей, выпаянных из старой аппаратуры, гарантировать нельзя. Разумеется, существуют специальные приборы, позволяющие определить параметры подобных элементов, но не у каждого радиолюбителя они есть. И тут вам пригодятся простейшие способы проверки электрорадиоэлементов.

6.1.1. Характеристика и проверка резисторов

При выборе резистора нужно учитывать как его параметры, так и условия среды, в которой он будет работать – температуру, влажность, вибрации и т.д. Следует также помнить о том, что у резисторов существует максимальная частота приложенного напряжения, при которой их сопротивление начинает меняться, и допустимое напряжение.

При определении состояния работающих резисторов или новых для замены вышедших из строя необходима их проверка. Постоянные резисторы проверяют внешним осмотром на отсутствие механических повреждений, целость корпуса, его покрытия, прочность выводов. По маркировке и размерам определяют номинальную величину сопротивления, допустимую мощность рассеяния и класс точности, а также соответствие параметров, указанных на корпусе, принципиальной электрической схеме. Омметром измеряют действительную величину сопротивления и определяют отклонение от номинала. Целость выводов проверяют измерением сопротивления резистора при их покачивании.

Переменные резисторы после внешнего осмотра проверяют на плавность изменения сопротивления путем его измерения при вращении оси, на соответствие закона изменения сопротивления резистора его типу, сопротивление резистора при крайних положениях оси. При измерении сопротивления резистора при вращении его оси часто наблюдаются скачки сопротивления, что говорит о неисправности резистора и о необходимости его замены.

Для замены потребуется соответствующий подбор резистора. Параметры резистора должны соответствовать условиям его применения по нагрузке и внешней среде. Фактическая мощность, рассеиваемая на резисторе, и его температура должны быть ниже предельных значений по техническим условиям на резистор.

Резистор исправен, если нет механических повреждений, величина его сопротивления находится в допустимых пределах данного класса точности, а контакт ползунка с токопроводящим слоем постоянен и надежен.

Резисторы выбирают с учетом особенностей цепей, где они работают, учитывая величину отклонения сопротивления от номинального. Если большое отклонение сопротивления мало влияет на работу устройства, то можно применять резисторы с допуском 20%. Такими резисторами могут быть резисторы в цепях управляющих сеток ламп, в цепи коллекторов транзисторов. Если от величины сопротивления резистора зависит режим работы цепи, то следует применять резисторы с допуском 5 или 10%. К ним относятся резисторы в цепях эмиттера и базы транзистора. В цепях, где требуется постоянство сопротивления, применяются резисторы с допуском не более 2%.

Работа резистора в схеме проявляется его нагревом. Относительно сильный нагрев (до 300 °С) для него не опасен, но выделяющееся тепло может отрицательно повлиять на соседние детали. В таких случаях для уменьшения нагрева резистора его нужно заменить на другой, большей мощности.

Отказы резисторов происходят в основном из-за обрывов в токопроводящей цепи, из-за нарушений контактов и от перегрева, приводящего к перегоранию проводящего слоя. Вследствие перегорания проводящего материала происходят внезапные отказы, а вследствие дрейфа сопротивления резистора – постепенные. Часть отказов резисторов зависит от состояния других деталей в аппаратуре и их отказов; значительное число отказов происходит из-за их неправильного применения.

Полупроводниковые нелинейные резисторы, в отличие от рассмотренных линейных, обладают способностью изменять свое сопротивление под действием управляющих факторов: температуры, напряжения, магнитного поля и др.

Терморезисторы, или *термисторы*, имеют резко выраженную зависимость электрического сопротивления от температуры. Они специально разработаны для больших изменений сопротивления в зависимости от температурных флуктуаций. Термисторы обычно имеют отрицательный температурный коэффициент (NTC). Это означает, что, когда температура терморезистора возрастает, сопротивление его падает, и наоборот. Даже при незначительном изменении температуры происходит существенное изменение сопротивления. Для большинства термисторов значение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) находится в диапазоне 2–9%/°С.

Термисторы с отрицательным ТКС бывают двух видов: стержневые (типа КМТ-1, СТЗ-1, ММТ-4) и дисковые (типа СТ1-2, КМТ-12, ММТ-12). Подобные чувствительные элементы используются для создания различных приборов – от электронных термометров до детекторов – в тех или иных промышленных системах управления, в которых должен осуществляться текущий контроль (мониторинг) и/или управление температурой.

Имеются также термисторы с положительным температурным коэффициентом (PTC) – позисторы. Они увеличивают свое сопротивление при возрастании температуры. При этом их сопротивление изменяется более резко и круто, чем у терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом. Обычное значение ТКС позисторов (типа СТ5-1, СТ6-4) находится в диапазоне 15–20%/°С.

Хорошим примером терморезистора с положительным температурным коэффициентом является нить лампы накаливания. Когда лампа накаливания выключена, нить накала имеет очень низкое сопротивление. Однако, когда через лампу протекает ток, нить сильно накаляется и быстро нагревается до температуры белого каления. Это значительно увеличивает со противление нити. Например, стандартная лампа накаливания 100 Вт имеет в холодном состоянии сопротивление приблизительно 10 Ом. Когда же на лампу подается напряжение 120 В, нить нагревается с увеличением сопротивления до 144 Ом, то есть отмечается рост сопротивления более чем в 14 раз. Такая характеристика лампы накаливания может использоваться для целей регулирования в некоторых типах электрических и электронных схем.

Наряду с параметрами, сходными с параметрами линейных резисторов, терморезисторы имеют свои собственные. Коэффициент температурной чувствительности *B* определяет характер температурной зависимости данного вида терморезистора. Постоянная времени характеризует тепловую инерционность. Она равна времени, в течение которого температура терморезистора изменяется на 63% при перенесении его из воздушной среды с температурой 0 °C в воздушную среду с температурой 100 °C.

Варисторы обладают резко выраженной зависимостью электрического сопротивления от приложенного к ним напряжения.

6.1.2. Характеристика и проверка конденсаторов

Основными параметрами конденсаторов являются номинальная емкость и номинальное напряжение. Тангенс угла потерь характеризует активные потери энергии в конденсаторе. Величина, обратная тангенсу угла потерь, называется *добротностью конденсатора*. Сопротивление изоляции и ток утечки характеризуют качество диэлектрика. Наиболее высокое сопротивление изоляции имеют фторопластовые, полистирольные и полипропиленовые конденсаторы, несколько ниже оно у керамических и поликарбонатных. Утечка происходит вследствие сопротивления, появившегося между обкладками конденсатора.

Для оксидно-электролитических конденсаторов задается ток утечки, значение которого пропорционально емкости и напряжению. Наименьший ток утечки имеют танталовые конденсаторы (от единиц до десятков микроампер), а у алюминиевых конденсаторов он на один-два порядка больше. Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) определяет относительное изменение емкости при изменении температуры конденсатора на 1 °C.

Большинство отказов конденсаторов происходит из-за пробоя и перекрытия, бывают отказы из-за механических повреждений, уменьшения емкости и сопротивления изоляции. Выход из строя диэлектрика конденсатора может происходить за счет пробоя в объеме диэлектрика и разряда по его поверхности. Пробой происходит, когда напряженность электрического поля превышает определенное значение для данного диэлектрика – пробивную

напряженность, характеризующую электрическую прочность диэлектрика. Для твердых диэлектриков характерны две формы пробоя – электрический и тепловой.

В основе электрического пробоя находится ударная ионизация электронами материала диэлектрика, в результате чего увеличивается количество носителей заряда. Происходит пробой, который может сжечь диэлектрик или прожечь в его объеме канал. Электрический разряд по поверхности диэлектрика может быть в воздухе над ним или по самой поверхности диэлектрика с образованием дорожек.

Тепловой пробой происходит в результате нарушения теплового равновесия в диэлектрике, когда его нагрев при электрической нагрузке превышает отвод тепла. Происходит уменьшение электрического сопротивления и электрической прочности диэлектрика, что приводит к пробою. Повреждение имеет вид проводящего канала от одной до другой обкладки. Обычно пробой возникает в результате ряда факторов: электрической и механической нагрузки, влажности, высокой внешней температуры.

В процессе хранения и работы конденсатора могут происходить обратимые и необратимые изменения его параметров.

Вышедшие из строя конденсаторы иногда можно определить по внешнему виду. Например, у электролитических конденсаторов может наблюдаться вздутие корпуса, у малогабаритных – следы сгорания. Проверяется также прочность крепления выводов. Тем же проверкам подвергаются и новые конденсаторы, предназначенные для замены. При этом проверяется соответствие их параметров, указанных на корпусе, электрической схеме. У конденсаторов переменной емкости проверяют плавность вращения ротора, отсутствие заеданий и люфтов.

Выделяют следующие электрические неисправности конденсаторов: пробой, короткое замыкание пластин, изменение номинальной емкости сверх допуска из-за старения диэлектрика, а также попадания влаги, перегрева или деформации, повышение тока утечки, вызванное ухудшением характеристик изоляции. Полная или частичная потеря емкости электролитических конденсаторов происходит в результате высыхания электролита.

Простейший способ проверки исправности конденсатора – внешний осмотр, при котором обнаруживаются механические

повреждения. Если при этом дефекты не были замечены, проводят электрическую проверку. Она включает в себя проверку на короткое замыкание, пробой, целость выводов, а также проверку тока утечки (сопротивление изоляции) и измерение емкости. Емкость конденсаторов определяют при помощи измерителя RLC (см. рис. 1.6г). При отсутствии прибора ее можно проверить другими способами.

Конденсаторы большой емкости (1 мкФ и выше) на короткое замыкание проверяют омметром на максимальных пределах измерения, измеряя сопротивление между выводами и между выводами и корпусом, если корпус металлический. При этом от конденсатора отпаивают детали, если он в схеме, и разряжают его, подготавливают прибор для измерения больших сопротивлений. Общее гнездо прибора должно быть соединено с положительным выводом конденсатора, а гнездо сопротивлений – с корпусом конденсатора.

Если емкость конденсатора больше 1 мкФ и он исправен, то после присоединения омметра конденсатор заряжается, и стрелка прибора быстро отклоняется в сторону нуля (причем отклонение зависит от емкости конденсатора, типа прибора и напряжения источника питания), затем она медленно возвращается к положению «бесконечность».

При наличии утечки омметр показывает малое сопротивление – сотни и тысячи Ом, величина которого зависит от емкости и типа конденсатора. При проверке исправных конденсаторов емкостью меньше 1 мкФ стрелка прибора не отклоняется, потому что малы ток и время заряда конденсатора. При пробое конденсатора его сопротивление примерно равно нулю.

При проверке омметром нельзя установить пробой конденсатора, если он происходит при рабочем напряжении. В таком случае можно проверить конденсатор мегаомметром при напряжении прибора, не превышающем рабочее напряжение конденсатора.

Конденсаторы средней емкости (от 500 пФ до 1 мкФ) проверяют с помощью последовательно подключенных к выводам конденсатора наушников и источника тока. Если конденсатор исправен, в момент замыкания цепи в головных телефонах слышен щелчок.

Конденсаторы малой емкости (до 500 пФ) проверяют в цепи тока высокой частоты. Конденсатор включают между антенной и приемником. Если громкость прибора не уменьшится, значит, обрывов выводов нет.

Сопротивление изоляции конденсатора между выводами и каждым выводом и корпусом проверяют ламповым мегаомметром. При этом сопротивление изоляции бумажных конденсаторов сотни и тысячи мегаом, остальных – десятки и сотни тысяч мегаом.

Клиновые конденсаторы не имеют выводов и впаиваются в вырезы печатных плат. При этом в корпусе прибора могут образоваться трещины, нарушающие его работу или создающие помехи. Поэтому при проверке таких конденсаторов нужно обращать внимание на их целость.

Если при замене конденсатора отсутствуют его данные, то нужно пользоваться схемой этого или сходного устройства, а если ее нет, то приходится ставить конденсатор, похожий по внешнему виду. При этом нужно учитывать условия эксплуатации и руководствоваться следующими соображениями:

- номинальное напряжение конденсатора определяют с учетом постоянной и переменной составляющих напряжения в месте установки конденсатора;
- сумма постоянной и амплитуды переменной составляющих не должна превышать номинального напряжения, а для электролитических конденсаторов амплитуда переменной составляющей не должна быть больше величины постоянной составляющей;
- рабочее напряжение электролитических конденсаторов должно быть ниже номинального на 10–20%, так как пробивное напряжение для них близко к номинальному.

В цепях с высокой стабильностью параметров, например в колебательных контурах, применяют керамические и воздушные конденсаторы с высоким классом точности. В цепях, к которым не предъявляются высокие требования по стабильности параметров, например в фильтрах развязки, используют бумажные конденсаторы. В некоторых цепях существуют высокие требования к сопротивлению изоляции, например к конденсаторам связи между соседними каскадами. В этом случае применяют слюдяные конденсаторы.

В цепях высокой частоты используют конденсаторы с высокой предельной частотой. Бумажные конденсаторы не применяют в цепях с частотой, превышающей единицы мегагерц. В цепях высокой частоты применяют керамические и вакуумные конденсаторы. Электролитические и бумажные конденсаторы используют в цепях сглаживающих фильтров выпрямителей, фильтров развязки и блокировки. При этом требуются конденсаторы большой емкости. В таких цепях применяются также сегнетоэлектрические конденсаторы.

В цепях при напряжении менее 10 В не рекомендуется использовать конденсаторы с вкладными выводами, так как в них может нарушиться контакт с фольгой. Герметизированные конденсаторы в металлическом корпусе имеют большую емкость на корпус. Если при монтаже ни один вывод конденсатора не соединяется с шасси устройства, то конденсатор необходимо изолировать от шасси на опорах толщиной 0,5–1 см. Для малогабаритной аппаратуры необходимо выбирать малогабаритные конденсаторы.

Конденсаторы могут применяться в схемах постоянного и переменного напряжения. Для первых применяются в основном электролитические конденсаторы, у которых с одного конца корпуса выходит один или несколько изолированных выводов. При монтаже конденсатора эти выводы присоединяются к положительному полюсу цепи с учетом соответствия напряжений участков цепи и выводов конденсатора, а корпус конденсатора присоединяется к металлическому корпусу устройства. Если у электролитического конденсатора другая конструкция, то полярность его выводов обозначается символами «+» и «–». Следует учесть, что могут быть и неполярные электролитические конденсаторы.

Если полярный конденсатор включить в сеть переменного напряжения, то через его диэлектрик пойдет переменный ток, нагревая конденсатор, и он может выйти из строя. В крайнем случае при отсутствии нужного конденсатора на переменное напряжение вместо него можно применить полярный конденсатор при условии, что его напряжение много больше напряжения сети. Например, полярный конденсатор с напряжением 250 В может работать в сети переменного напряжения 50 В при

частоте 50 Гц. Внешними признаками выхода из строя бумажных и электролитических конденсаторов являются вздутие корпуса, отрыв торцевых изолирующих частей у выводов, а также отрыв самих выводов.

Керамические конденсаторы могут обугливаться или разрушаться. Признаки внутренних неисправностей могут быть выявлены только при измерениях, о чем говорилось выше. При любой неисправности конденсатор должен быть заменен.

Очень легко сделать ошибку при установке на плату электролитических конденсаторов, особенно импортного производства, так как справочную информацию по ним найти трудно, а на корпусе полярность не всегда указана.

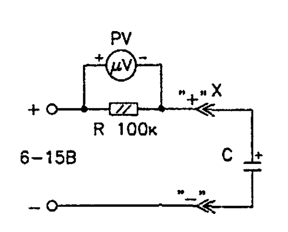


Рис. 6.1. Схема для определения полярности электролитических конденсаторов

В этом случае удобно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 6.1, которая позволит легко определить полярность конденсатора по минимуму тока утечки. Утечка замеряется косвенным методом по падению напряжения на резисторе R после окончания заряда подключенного конденсатора. Напряжение, подаваемое с блока питания, не должно превышать допустимое рабочее значение для конденсатора. При неправильном подключении полярности конденсатора утечка будет в 10–100 раз больше по сравнению с правильным. Эти измерения проводят при помощи вольтметра с большим входным сопротивлением, например В7-38А.

Конденсаторы переменной емкости проверяют на пробой при плавном повороте ротора. Это можно сделать и на специальной испытательной установке, прикладывая между выводами и каждым выводом и корпусом повышенное напряжение, превышающее номинальное в 1,5–3 раза в течение 10–60 с в зависимости от типа конденсатора.

6.1.3. Ионисторы

В последние годы появился новый класс приборов, функционально близких к конденсаторам очень большой емкости,

по существу, занимающих положение между конденсаторами и источниками питания. Это *ионисторы* – конденсаторы с двойным электрическим слоем.

Номинальное напряжение ионистора зависит от вида используемого в нем электролита и является для него максимально допустимым. Для получения более высокого рабочего напряжения ионисторы соединяют последовательно. Но делать это самостоятельно не рекомендуется – параметры ионисторов в такой связке должны быть очень близкими.

Внутреннее сопротивление ионистора может быть рассчитано по формуле

$$R_{ВН} = U/I_{КЗ},$$

где U – напряжение на ионисторе, В; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания, А. Например, для ионистора К58-3 (японский аналог DC-2R4D225) $R_{ВН}$ = 10–100 Ом.

Электрическую емкость ионистора рассчитывают по формуле

$$C = I \cdot t/U_{НОМ},$$

где C – емкость, Ф; I – постоянный ток разрядки, А; $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение ионистора, В; t – время разрядки от $U_{НОМ}$ до нуля, с.

В принципе, ионистор – неполярный прибор. Вывод «+» указывают для обозначения полярности остаточного напряжения после его зарядки на заводе-изготовителе.

Рабочие температуры отечественных ионисторов находятся в диапазоне от –25 до +70 °С; отклонения емкости от номинальной – от –20 до +80%.

Долговечность ионистора зависит от условий эксплуатации. Так, при работе под напряжением $U_{НОМ}$ при температуре окружающей среды +70 °С гарантированная долговечность составит 500 часов. При работе под напряжением 0,8 $U_{НОМ}$ она увеличивается до 5000 часов. Если же напряжение на ионисторе не превышает 0,6 $U_{НОМ}$, а температура окружающей среды менее +40 °С, то ионистор будет исправно работать 40000 часов и более.

Важнейший параметр ионистора – ток утечки. Это особенно важно при использовании его в качестве резервного источника питания. Весьма перспективен ионистор в качестве накопителя энергии при работе совместно с солнечными батареями. Здесь

особенно ценна его некритичность к режиму заряда, практически неограниченное число циклов заряд–разряд. Ионистор не требует ухода в течение всего срока службы.

6.1.4. Проверка катушек индуктивности

Проверка исправности катушек индуктивности начинается с внешнего осмотра, в ходе которого необходимо убедиться в исправности каркаса, экрана и выводов, в правильности и надежности соединений всех деталей катушки, в отсутствии видимых обрывов проводов, замыканий, повреждения изоляции и покрытий. Особое внимание следует обращать на места обугливания изоляции, каркаса, почернение или оплавление заливки.

Электрическая проверка катушек индуктивности включает проверку на обрыв, поиск короткозамкнутых витков и определение износа изоляции обмотки. Проверка на обрыв выполняется омметром. Увеличение сопротивления означает обрыв или плохой контакт одной или нескольких жил литцендрата. Уменьшение сопротивления свидетельствует о межвитковом замыкании. При коротком замыкании выводов сопротивление равно нулю. Для более точного представления о неисправности элемента необходимо измерить индуктивность. В заключение рекомендуется проверить работоспособность катушки в исправном аппарате, подобном тому, для которого она предназначена.

6.1.5. Проверка трансформаторов и дросселей

По конструкции и технологии изготовления силовые трансформаторы, трансформаторы и дроссели НЧ весьма похожи. И те, и другие состоят из обмоток, выполненных изолированным проводом, и сердечника.

Неисправности трансформаторов и дросселей НЧ делятся на механические и электрические. К механическим относятся поломки экрана, сердечника, выводов, каркаса и крепежной арматуры, к электрическим – обрывы обмоток, замыкания между витками обмоток, короткое замыкание обмотки на корпус, сердечник, экран или арматуру, пробой между обмотками, на корпус или между витками одной обмотки, уменьшение сопротивления изоляции, а также местные перегревы.

Проверку трансформаторов и дросселей НЧ начинают с внешнего осмотра, в процессе которого находят и устраняют все видимые механические дефекты.

Проверка на короткое замыкание между обмотками, между обмотками и корпусом производится омметром (рис. 6.2а,б). Прибор включают между выводами разных обмоток, а также между одним из выводов и корпусом. Так же проверяется и сопротивление изоляции, которое должно быть не менее 100 МОм для герметизированных трансформаторов и не менее десятков мегаом для негерметизированных. Самая сложная – проверка на межвитковые замыкания. Существует несколько способов проверки трансформаторов:

- измерение омического сопротивления обмотки и сравнение результатов с паспортными данными (способ простой, но не слишком точный, особенно при малой величине омического сопротивления обмоток и небольшом количестве короткозамкнутых витков);
- проверка коэффициентов трансформации на холостом ходу (рис. 6.2в). Коэффициент трансформации определяется как отношение напряжений, показываемых вольтметрами 2 и 1. При наличии межвитковых замыканий (отмечено пунктиром) коэффициент трансформации будет меньше нормы;
- измерение индуктивности обмотки;
- измерение потребляемой мощности на холостом ходу. У силовых трансформаторов одним из признаков короткозамкнутых витков является чрезмерный нагрев обмотки.

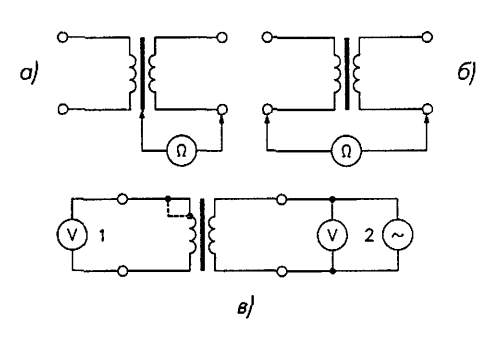


Рис. 6.2. Схемы проверки трансформатора на замыкание:
а – между обмоткой и сердечником; б – между обмотками;
в – проверка коэффициента трансформации на холостом ходу

Наиболее точные результаты получают, используя приборные способы проверки:

- проверка катушки с помощью специального прибора – анализатора короткозамкнутых витков;
- проверка трансформатора по форме выходной синусоиды, так называемая частотная «прогонка». Так проверяются трансформаторы питания НЧ (40–60 Гц), трансформаторы питания импульсных блоков питания (8–40 кГц), разделительные трансформаторы типа ТДКС (13–17 кГц), разделительные трансформаторы мониторов (CGA 13–17 кГц, EGA 13–25 кГц, VGA 25–50 кГц). Для этого, например, разделительный трансформатор строчной развертки необходимо подключить согласно рис. 6.3 и подать на обмотку I синусоидальное напряжение 5–10 В частотой 10–100 кГц через конденсатор С емкостью 0,1–1,0 мкФ. На обмотке II, используя осциллограф, можно наблюдать форму выходного напряжения.
  «Прогнав» на частотах от 10 до 100 кГц генератор НЧ, нужно, чтобы на каком-то участке получилась чистая синусоида (рис. 6.4а) без выбросов и «горбов» (рис. 6.4б). Наличие эпюр во всем диапазоне (рис. 6.4в) говорит о межвитковых замыканиях в обмотках. Данная методика с определенной степенью вероятности позволяет отбраковывать трансформаторы питания, различные разделительные трансформаторы, частично строчные трансформаторы. Важно лишь подобрать частотный диапазон;

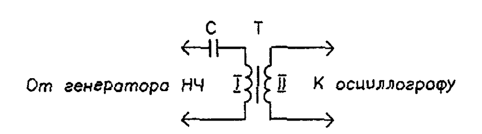


Рис. 6.3. Схема проверки трансформатора по форме выходной синусоиды

- проверка трансформатора с использованием явления резонанса. Для этого нужно собрать схему для параллельного (рис. 6.5) или последовательного (рис. 6.6) резонанса. Изменяя частоту генератора, нужно добиться резкого

увеличения (от 2 раз и выше) амплитуды колебаний на контрольном устройстве (экран осциллографа или шкала вольтметра переменного тока). Это указывает, что частота внешнего генератора соответствует частоте внутренних колебаний LC-контура. Отсутствие или срыв колебаний (достаточно резкий) при изменении частоты генератора НЧ указывают на резонанс.

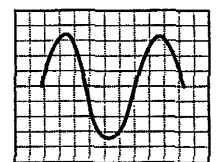
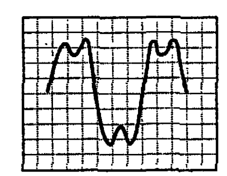
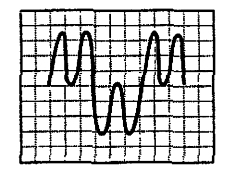




Рис. 6.4. Формы наблюдаемых сигналов

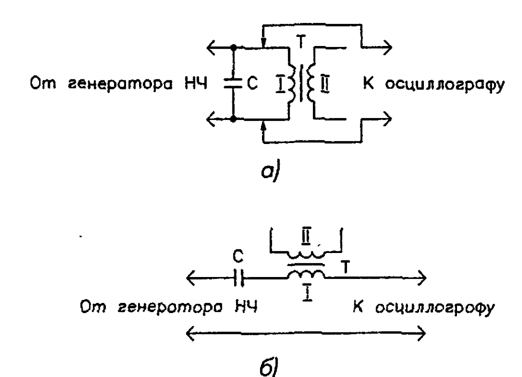


Рис. 6.5. Схема проверки трансформатора с использованием явления параллельного (а) и последовательного (б) резонанса

Для проверки закоротите обмотку II трансформатора. Колебания в LC-контуре исчезнут. Из этого следует, что короткозамкнутые витки срывают резонансные явления, чего мы и добивались. Наличие короткозамкнутых витков в катушке также приведет к невозможности наблюдать резонансные явления в LC-контуре. Отметим, что для проверки импульсных трансформаторов блоков питания конденсатор С должен иметь емкость 0,01–1 мкФ. Частота генерации подбирается опытным путем.

6.2. ОТКАЗЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИХ ПРОВЕРКА

Отказы полупроводниковых приборов часто связаны с пробоем, когда прибор проводит ток в обратном направлении. В основе этого явления лежит пробой p-n перехода в монокристаллической структуре, составляющей основу прибора. Существует несколько его разновидностей.

Тепловой пробой происходит в результате тепловой ионизации атомов полупроводника и местного перегрева структуры.

Лавинный пробой возникает вследствие ударной ионизации атомов полупроводника неосновными носителями в области объемного заряда.

Зенеровский пробой появляется из-за перехода валентных электронов из валентной зоны в зону проводимости. При этом происходит разрушение кристаллической решетки в области объемного заряда электрическим полем.

Поверхностный пробой наблюдается в местах выхода p-n перехода на поверхность полупроводника. Он обусловлен увеличением напряженности поля объемного заряда в связи с искажением поля поверхностными зарядами, а также ухудшением свойств среды у поверхности полупроводника.

Практически действуют несколько видов пробоя одновременно. *Нарушение вентильных свойств приборов может также* происходить при различных перенапряжениях, при перегрузках по току и вызванных ими тепловых перегрузках.

Для увеличения пропускаемого тока и безопасного перегрева применяется охлаждение приборов. Оно предусматривается для силовых диодов и тиристоров в энергетике и для мощных диодов, транзисторов и тиристоров в электронике. Охлаждение может быть воздушное, водяное и испарительное.

Воздушное охлаждение осуществляется путем присоединения к прибору теплостока или радиатора (медного или алюминиевого). Применяется в основном резьбовое соединение радиатора с прибором.

Большое значение имеет проблема контакта прибора с радиатором. При этом должно быть плотное затягивание винта, но без повреждения резьбы и поверхностей.

В случае применения алюминия для радиаторов проблема контакта заключается в том, что имеется большая электрохимическая

разность потенциалов медь – алюминий (около 1,8 В). Попадание влаги в место контакта вызывает коррозию алюминия, поэтому применяется гальваническое покрытие основания вентиля.

Водяное охлаждение осуществляется присоединением приборов к контуру с водой, например через полую шину.

Испарительное охлаждение осуществляется присоединением прибора к контуру, где жидкость испаряется и потом конденсируется.

Ясно, что без охлаждения, если оно предусмотрено конструкцией, полупроводниковый прибор не сможет обеспечить необходимый режим работы и выйдет из строя.

Кроме указанных причин отказы полупроводниковых приборов могут быть обусловлены обрывами и перегоранием выводов, наружным пробоем между выводами, растрескиванием кристаллов и другими причинами.

Иногда выход из строя прибора можно определить по внешнему виду: если он обгорел, разрушился или обгорели провода. Но не всегда признаки выражены явно, поэтому нужно пользоваться приборами. Рассмотрим проверку некоторых полупроводниковых приборов и других элементов аппаратуры с помощью измерительных приборов.

6.2.1. Проверка полупроводниковых диодов

Простейшая проверка исправности полупроводниковых диодов заключается в измерении их прямого $R_{ПР}$ и обратного $R_{ОБР}$ сопротивлений постоянному току. Чем меньше прямое сопротивление и больше обратное или, другими словами, чем выше отношение $R_{ОБР}/R_{ПР}$, тем выше качество диода. Для измерения диод подключают к тестеру (омметру) или к ампервольтомметру, как показано на рис. 6.6. При этом выходное напряжение измерительного прибора не должно превышать максимально допустимого для данного элемента.

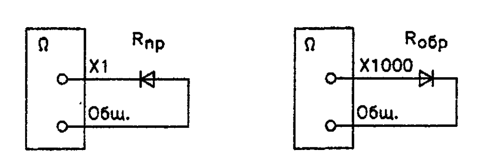


Рис. 6.6. Схема проверки исправности диода: а – измерение прямого сопротивления; б – измерение обратного сопротивления

Прямое сопротивление должно быть не больше примерно 200 Ом, а обратное не меньше 500 кОм. Следует иметь в виду, что если прямое сопротивление около нуля, а обратное стремится к бесконечности, то в первом случае имеется пробой, а во втором – обрыв выводов или нарушение структуры. Сопротивление диода переменному току меньше прямого сопротивления и зависит от положения рабочей точки.

Исправность высокочастотных диодов можно проверить включением их в схему работающего простейшего детекторного радиоприемника, как показано на рис. 6.7. Нормальная работа радиоприемника говорит об исправности диода, а отсутствие приема – о пробое.

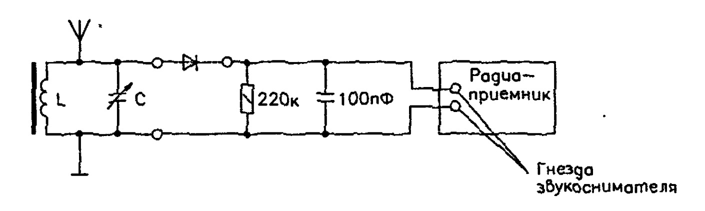


Рис. 6.7. Схема проверки исправности ВЧ диода

Универсальные и импульсные диоды – полупроводниковые диоды, имеющие малую длительность переходных процессов включения и выключения и предназначенные для применения в импульсных режимах работы.

Стабилитрон – полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики этого диода является почти прямой линией, поэтому при изменении тока, проходящего через прибор, напряжение на нем практически не меняется.

Основные параметры стабилитронов: $U_{СТ}$ – напряжение стабилизации, $I_{СТ}$ – ток стабилизации (постоянный ток, протекающий через стабилитрон в режиме стабилизации), $P_{СТ\ МАКС}$ – максимально допустимая мощность стабилизации.

Варикап – полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании резко выраженной зависимости его емкости от величины приложенного обратного напряжения. Он применяется как элемент с электрически управляемой емкостью.

Основные параметры варикапов: C_B – емкость, Q_B – добротность (отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданной емкости или обратном напряжении).

6.2.2. Проверка транзисторов

Транзисторами называются полупроводниковые приборы на *основе кристалла с двумя p-n переходами и служащие для усиления* электрических сигналов. В структуре транзистора возможно количество переходов, отличное от двух. Транзисторы с двумя p-n переходами называются биполярными, так как их работа основана на использовании зарядов обоих знаков.

В кристалле полупроводника транзистора созданы три области электропроводности с порядком чередования p-n-p или n-p-n. Средняя область кристалла транзистора называется базой, крайние области – эмиттером и коллектором. Переходы между базой и эмиттером и базой и коллектором называются соответственно эмиттерным и коллекторным. Для обозначения выводов, относящихся к базе, эмиттеру и коллектору, применяют буквы кириллицы или латиницы Б (В), Э (Е) и К (С) соответственно. На значке схемного обозначения транзистора стрелка указывает условное направление тока в эмиттере от плюса к минусу.

Чтобы проверить исправность полупроводникового транзистора, не включенного в схему, на отсутствие коротких замыканий, необходимо измерить сопротивления между его электродами. Для этого омметр подключают поочередно к базе и эмиттеру, к базе и коллектору, к эмиттеру и коллектору, меняя полярность подключения. Поскольку транзистор состоит из двух переходов, причем каждый из них представляет собой полупроводниковый диод, проверить транзистор можно таким же образом, как и диод.

Чтобы убедиться в исправности данного элемента, омметр подключают к соответствующим выводам транзистора (на рис. 6.8 показано, как измеряют прямое и обратное сопротивление каждого из переходов). У исправного транзистора прямые сопротивления переходов составляют 30–50 Ом, а обратные – 0,5–2 МОм. При значительных отклонениях от этих величин транзистор можно считать неисправным.

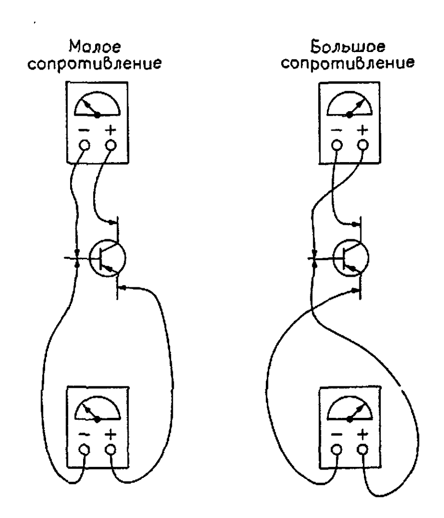


Рис. 6.8. Проверка транзистора с помощью омметра

При проверке ВЧ транзисторов напряжение батареи омметра не должно превышать 1,5 В. Для более точной проверки необходимо использовать специальные приборы.

Многие модели современных мультиметров имеют специальные гнезда для подключения транзисторов для проверки их исправности. Наличие такого прибора значительно упростит работу радиолюбителя.

При ремонте бытовой радиоаппаратуры часто возникает необходимость проверить исправность полупроводниковых транзисторов без выпаивания из схемы. Один из способов проверки – измерение омметром сопротивления между выводами эмиттера и коллектора при соединении базы с коллектором (рис. 6.9а) и соединении базы с эмиттером (рис. 6.9б). При этом источник коллекторного питания отключают от схемы. Если транзистор исправен, в первом случае омметр покажет малое

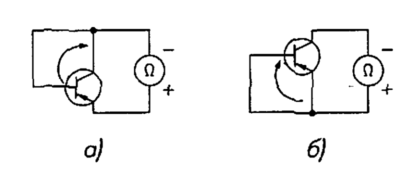


Рис. 6.9. Схема проверки исправности транзистора

сопротивление, во втором – порядка нескольких сотен тысяч или десятков тысяч ом.

Однако недостаточно определить только величины сопротивлений переходов, чтобы сделать вывод о работоспособности транзистора. Желательно измерить обратный ток коллектора, обратный ток эмиттера и ориентировочное значение коэффициента усиления по току. Пригодность транзистора определяется сравнением полученных данных с данными, указанными в паспорте транзистора.

При измерениях параметров отдельного транзистора можно выявить обрывы электродов и замыкания в транзисторах, но это же можно сделать и при измерениях в схемах с транзисторами. При этом нужно иметь в виду, что используемый прибор должен обладать достаточно большим внутренним сопротивлением. При проведении электрических измерений можно сделать следующие выводы:

- при обрыве цепи базы напряжения базы и эмиттера отсутствуют, напряжение коллектора повышено;
- при обрыве цепи эмиттера напряжение коллектора повышено, *напряжение базы почти нормальное*, *напряжение на* эмиттере приблизительно равно напряжению базы;
- при обрыве цепи коллектора напряжения на всех электродах транзистора уменьшаются;
- при обрыве базы внутри транзистора напряжение базы близко к нормальному, напряжение эмиттера уменьшается, а напряжение коллектора повышается;
- при замыкании эмиттера и коллектора внутри транзистора напряжение базы изменяется незначительно, напряжение эмиттера возрастает, напряжение коллектора падает.

Нужно учитывать, что транзистор может работать в режиме насыщения. Этот режим бывает тогда, когда сопротивление нагрузки в цепи коллектора велико и ток коллектора создает на нем падение напряжения, равное напряжению источника питания. В этом случае потенциалы всех электродов транзистора одинаковы. Данный режим используется в импульсных устройствах, а для усилителей опасен.

Параметры и характеристики транзисторов зависят от температуры окружающей среды, стабильности нагрузки, условий теплоотвода. Все эти факторы изменяют температуру транзистора.

При ее повышении возможен выход транзистора из строя и неизбежное изменение параметров схемы.

Большую температурную чувствительность транзистора можно объяснить следующим. Электропроводность германия и кремния, из которых выполняют транзисторы, зависит от температуры. При ее увеличении нарушается электрическое равновесие, возрастает эмиттерный и коллекторный ток, что увеличивает мощность, рассеиваемую на коллекторе, и температуру коллектора, вызывая увеличение обратного тока коллектора. При этом может быть равновесие или транзистор выйдет из строя. Это зависит от условий охлаждения, окружающей температуры и величины сопротивления в цепи коллектора, ограничивающего нарастание коллекторного тока. Следует помнить, что при большом сопротивлении в цепи коллектора транзистор входит в режим насыщения и перестает работать как усилитель.

Второй момент, увеличивающий чувствительность транзистора к температуре, состоит в том, что прямая проводимость участка эмиттер–база возрастает с повышением температуры. Это явление вызывает увеличение тока эмиттера.

Иногда имеет место самопроизвольное изменение параметров транзисторов независимо от изменений окружающей среды.

Неисправность транзистора в схеме – явление редкое и может быть вызвано его перегревом при плохом теплоотводе или при пайке или нарушением режимов работы схемы.

Перед заменой транзистора нужно детально его проверить, а при выходе из строя проверить другие детали, входящие в схему, от которых зависит его работа.

Для замены нужно брать транзистор такого же типа или равноценный. Перед установкой его нужно проверить описанными методами. Расположение выводов следует определять по прилагаемому паспорту или по справочнику.

6.2.3. Отказы интегральных микросхем

Отказы ИС могут быть связаны как с физико-химическими процессами внутри полупроводника, так и с теми же процессами на его поверхности и обусловлены состоянием контактных соединений.

Первая группа отказов связана со структурными дефектами (дислокациями и микротрещинами) внутри полупроводника. Эти дефекты с течением времени могут развиваться под воздействием температурных и механических влияний и изменять характеристики микросхемы, приводя к отказам.

Вторая группа отказов связана с накоплением на поверхности полупроводника диоксида кремния. В объеме, близком к *поверхности, накапливаются заряды, изменяющие состояние* p-n переходов, и появляются поверхностные каналы. В результате этого происходит увеличение токов утечки, отсутствие насыщения вольт-амперной характеристики перехода коллектор-база, омическое шунтирование эмиттера с коллектором, снижение обратного пробивного напряжения на коллекторе, уменьшение коэффициента усиления по току, омическое шунтирование эмиттера с базой, увеличение шумов.

В ИС применяется металлизированная разводка между отдельными элементами с соединением алюминиевых контактных площадок с внешними выводами с помощью золотых проводников, привариваемых к контактным площадкам и наружным выводам. Отказы связаны с нарушением соединений этих проводников и металлической разводки из-за механических повреждений или малой толщины пленки алюминия. Нарушения соединений могут вызвать перегрев в этих местах, что ведет к коррозии или расплавлению металла.

Нарушение электрической цепи и появление отказов может произойти по причине образования диэлектрической пленки на границе раздела алюминия и кремния или образования гидрата оксида алюминия на металлизированной разводке при попадании влаги внутрь корпуса ИС. Отказы могут быть также из-за нарушения контакта золотых проводников с контактными площадками микросхемы и внешними выводами корпуса.

Внешним проявлением ухудшений состояния ИС является увеличение обратного тока коллекторного перехода за счет появления тока утечки. Надежность ИС можно повысить, улучшив технологию их производства.

Вышедшая из строя микросхема, как правило, подлежит замене. Заменять ее нужно на такую же, но можно и на микросхему сходного типа, электрическая схема которой подходит для данного

устройства. Нельзя производить необоснованную замену деталей в схеме, содержащей ИС, так как это может вывести ее из строя.

6.2.4. Проверка тиристоров

Тиристором называется полупроводниковый прибор на основе четырехслойной структуры p-n-p-n, то есть имеющий три p-n перехода. Напряжения подводятся так, что крайние переходы работают в прямом направлении, а средний – в обратном. Если у прибора сделаны выводы только от крайних областей структуры, то он называется диодным тиристором, или динистором.

Триодный тиристор, или просто тиристор, имеет дополнительный управляющий вывод от одной из средних структур и включается импульсами тока управления, а выключается или подачей обратного напряжения или прерыванием тока с помощью другого прибора. Другие названия: тринистор и триак.

Запираемый тиристор выключается с помощью импульсов тока управления.

Симистор (симметричный тиристор) является эквивалентом встречно-параллельного соединения двух тиристоров и способен в открытом состоянии пропускать ток в обоих направлениях. Включение происходит импульсами тока управления.

Оптронный тиристор включается с помощью светового сигнала.

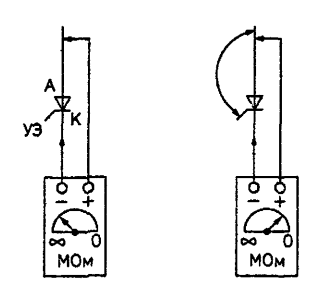


Рис. 6.10. Проверка тиристора с помощью мегомметра

Простейший способ проверки тиристоров представлен на рис. 6.10. Сопротивление исправного тиристора составляет несколько мегаом, а пробитого близко к нулю. Если анод исправного

тиристора соединить на несколько секунд с управляющим электродом (УЭ), прибор покажет сопротивление короткого замыкания.

6.2.5. Проверка полевых транзисторов

Полевой транзистор – полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем. В полевом транзисторе используются заряды одного знака. Для обозначения выводов, относящихся к затвору, стоку и истоку, применяют буквы кириллицы или латиницы З (G), С (D) и И (S) соответственно.

Из многочисленных параметров полевых транзисторов практическое значение имеют только два: $I_{С\,НАЧ}$ – ток стока при нулевом напряжении на затворе и S – крутизна характеристики. Эти параметры можно измерить, используя простую схему, изображенную на рис. 6.11. Для этого потребуется миллиамперметр PA, например из состава мультиметра, батарея GB1 напряжением 9 В («Крона» или составленная из двух батарей 3336Л) и элемент GB2 напряжением 1,5 В (например, элемент AA).

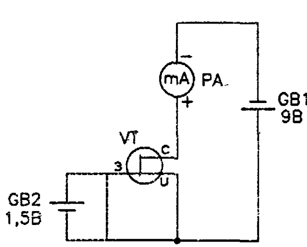


Рис. 6.11. Проверка полевого транзистора

Сначала вывод затвора соединяют проволочной перемычкой с выводом истока. При этом миллиамперметр зафиксирует первый параметр транзистора – ток стока $I_{С\,НАЧ}$. Записывают его значение. Затем снимают перемычку и подключают вместо нее элемент GB2. Прибор покажет меньший ток в стоковой цепи. Если теперь разность двух показаний миллиамперметра разделить на напряжение элемента, полученный результат будет соответствовать численному значению параметра S проверяемого полевого транзистора.

При измерении параметров полевого транзистора с p-n переходом и каналом n-типа полярность включения миллиамперметра PA, батареи GB1 и элемента GB2 должна быть обратной.

6.2.6. Проверка элементов питания

Проверку гальванических батарей и сухих элементов осуществляют с помощью вольтметра при подключенной нагрузке (рис. 6.12).

Нагрузкой может быть или лампа накаливания с соответствующим номинальным током, или резистор R, сопротивление которого рассчитывается по закону Ома (величина потребляемого тока берется порядка 100–200 мА).

Для сухих элементов (1,5 В) напряжение, измеренное под нагрузкой, не должно быть меньше 1,36 В, а для гальванических батарей 4,5 В – от 3,8 до 4 В.

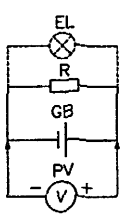


Рис. 6.12. Проверка гальванических батарей и сухих элементов с помощью вольтметра при подключенной нагрузке

6.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

6.3.1. Определение цоколевки биполярного транзистора

В радиолюбительской практике часто бывает необходимо определить расположение выводов транзистора (например, импортного), а справочника под рукой нет. Особые трудности возникают при использовании маломощных транзисторов, у которых выводы не имеют маркировки. В этом случае цоколевку транзистора можно определить следующим способом.

Сначала с помощью омметра найдите вывод базы транзистора и определите его структуру. На омметре нужно установить предел измерения «×10» и поочередно подключать его щупы к паре выводов, передвигаясь по кругу.

Обнаружив при подключении, что сопротивление между выводами мало (сотни ом), перенесите минусовый щуп омметра к оставшемуся свободным третьему выводу. Если прибор также зафиксирует малое сопротивление, значит вывод, к которому оставался подключенным плюсовой щуп омметра, является базой, а структура транзистора – n-p-n.

Если будет зафиксировано большое сопротивление, поменяйте местами щупы. Резкое уменьшение сопротивления свидетельствует о том, что базой транзистора является вывод, к которому подключен минусовый щуп омметра, а сам транзистор имеет структуру p-n-p.

Может случиться, что вы не обнаружите вывод, который по указанной методике определяется как вывод базы. Это будет означать, что транзистор, скорее всего, неисправен.

Определив вывод базы, подключите щупы омметра к оставшимся двум выводам в произвольной полярности, принимая, что коллектором в данный момент является вывод, с которым соединен плюсовой щуп (для n-p-n транзистора) или минусовый (для p-n-p транзистора). Затем подключите к выводам базы и предполагаемого коллектора постоянный резистор сопротивлением 30–50 кОм. Отсчитав показания омметра, измените полярность его подключения и повторно подсоедините указанный резистор между выводами базы и предполагаемого коллектора. После этого вновь отсчитайте показания омметра. Вывод транзистора, на котором сопротивление при подключении резистора меньше, и будет коллектором, а оставшийся «неопознанным» вывод – эмиттером.

Следует иметь в виду, что плюсовым выводом омметра, входящего в состав мультиметра, обычно является минусовый вывод прибора.

6.3.2. Определение полярности источника постоянного тока

Ремонт различных устройств не всегда производится в мастерской, поэтому довольно часто под рукой не оказывается даже тестера (мультиметра). А нужно, скажем, определить полярность элемента питания, у которого стерлась маркировка (например, батарей с гибкими выводами, применяемых в технике связи). В таких условиях рекомендуется пользоваться следующими способами.

В стакан наливают теплую воду и растворяют в ней столовую ложку поваренной соли. Затем в него опускают концы

проводов, подключенных к выводам батареи. У провода, соединенного с отрицательным выводом батареи, будут интенсивно выделяться пузырьки газа (рис. 6.13а).

Сырой клубень картофеля разрезают на две части и в одну из частей со стороны среза втыкают на расстоянии 15–20 мм друг от друга провода от зажимов батареи, зачищенные от изоляции. Около провода, соединенного с положительным полюсом батареи, картофель окрасится в зеленый цвет (рис. 6.13б).

Два проводника, подключенных к источнику более высокого напряжения, вводят в пламя свечи. Под действием напряжения пламя свечи станет низким и широким, а на отрицательном электроде появится тонкая ленточка сажи (рис. 6.13в).

Для постоянного пользования можно изготовить простой индикатор для определения полярности неизвестного источника. Он представляет собой стеклянную трубочку, закрытую пробками, с пропущенными внутрь нее электродами (держатели спирали), взятыми от перегоревшей электролампы (рис. 6.13г).

Для заполнения полости трубочки готовят раствор селитры (1 часть) в воде (4 части). К этому раствору добавляется такой же объем смеси из глицерина (5 частей) и раствора фенолфталеина (0,1 части) в винном спирте (1 часть).

Такой индикатор служит годами. У отрицательного полюса содержимое трубочки окрашивается в красный цвет, а если напряжение источника переменное, то оба электрода приобретают розовый оттенок. Чтобы вернуть прибор в исходное положение, достаточно встряхнуть трубочку.

6.3.3. Определение параметров неизвестного трансформатора

В радиолюбительской мастерской всегда найдется несколько трансформаторов, которые остались от старых приборов, но сохранили свою работоспособность. Вот только характеристики устройства или утеряны, или забыты. Но это не беда.

Чтобы определить параметры неизвестного трансформатора, нужно поверх его обмоток выполнить вспомогательную обмотку из нескольких витков медного изолированного провода диаметром 0,12–0,4 мм. Затем, измеряя сопротивление обмоток омметром, надо определить обмотку с наибольшим

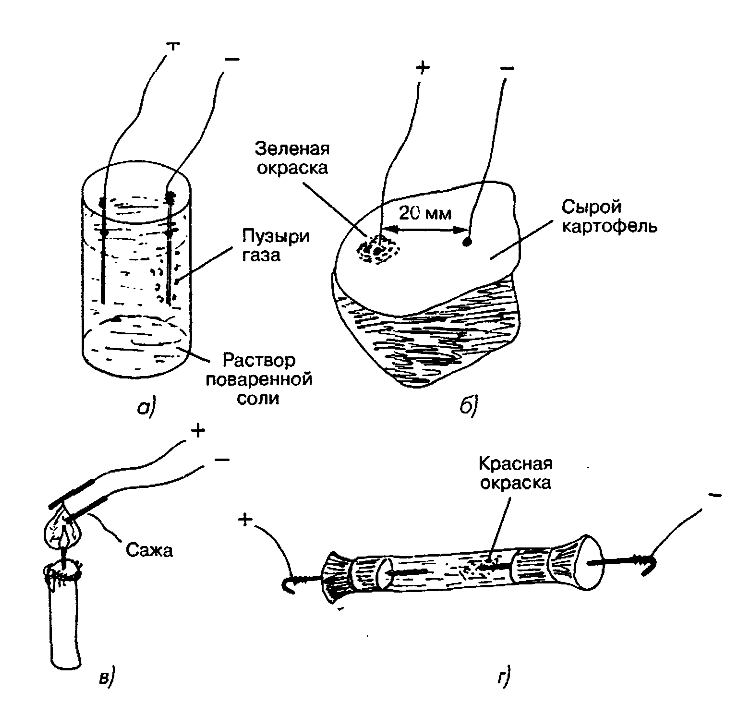


Рис. 6.13. Определение полярности источника постоянного тока: а – с помощью раствора поваренной соли; б – с использованием картофеля; в – при помощи пламени свечи; г – самодельным индикатором

сопротивлением и, считая ее первичной, подать на нее напряжение U_1 сети переменного тока порядка 50–100 В. Вольтметр, включенный в цепь вспомогательной обмотки, покажет при этом напряжение U_2. Число витков N_1 в обмотке, включенной в сеть, можно определить по формуле

$$N_1 = \frac{U_1}{U_2} N_2 ,$$

где N_2 – число витков вспомогательной обмотки.

Коэффициент трансформации между этими обмотками равен отношению N_2 / N_1. Точно также можно определить число витков и коэффициенты трансформации других обмоток. Точность расчетов по этому методу зависит от точности показаний

вольтметра и от количества витков вспомогательной обмотки: чем больше витков, тем выше точность.

6.3.4. Определение внутреннего сопротивления стрелочного прибора

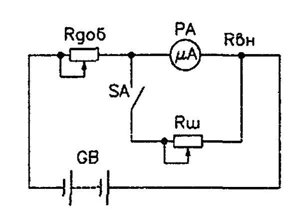


Рис. 6.14. Измерение внутреннего сопротивления прибора

Для расчета элементов схемы при конструировании измерительных приборов необходимо знать характеристики самого стрелочного прибора. Сопротивление рамки магнитоэлектрического микроамперметра может быть измерено простым и безопасным способом. Для этого следует собрать цепь, состоящую из прибора PA, сопротивление рамки $R_{ВН}$ которого нужно определить, переменного добавочного резистора $R_{ДОБ}$, батареи питания GB, шунтирующего резистора $R_{Ш}$ и выключателя SA (рис. 6.14).

Сопротивление добавочного резистора $R_{ДОБ}$ подбирают при отключенном $R_{Ш}$ таким образом, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу. Затем параллельно рамке прибора подключают шунтирующий резистор переменного сопротивления $R_{Ш}$, значение которого выбирают с таким расчетом, чтобы стрелка прибора отклонилась на половину шкалы. При данном условии ток в рамке будет равен току, протекающему через $R_{Ш}$, то есть $R_{ВН} = R_{Ш}$. Затем шунтирующий резистор можно отключить и измерить его величину с помощью омметра.

Подобным способом можно определить внутреннее сопротивление измерительного генератора, а также выходного каскада усилителя НЧ. К выходу ненагруженного устройства нужно подключить ламповый вольтметр, показания которого записывают при отсутствии нагрузки на выходе. Затем к выходу генератора (усилителя) подключают сопротивление такой величины, чтобы показания вольтметра уменьшились вдвое. Внутреннее сопротивление генератора на данной частоте будет точно равно величине сопротивления подключенного резистора.

6.3.5. Определение параметров коаксиального кабеля

Одним из основных параметров высокочастотного кабеля является волновое сопротивление. Обычным омметром измерить его нельзя – для этого нужен специальный прибор. Сам кабель (отечественного производства) не имеет маркировки, и если вы не знаете его тип, то, воспользовавшись штангенциркулем, легко сможете определить волновое сопротивление с помощью несложных вычислений.

Для этого нужно снять внешнюю защитную оболочку с конца кабеля, завернуть оплетку и измерить диаметр внутренней полиэтиленовой изоляции. Затем необходимо снять изоляцию и измерить диаметр центральной жилы. После этого результат первого измерения разделить на результат второго: при полученном отношении примерно 3,3–3,7 волновое сопротивление кабеля составляет 50 Ом, при значении 6,5–6,9 – 75 Ом.

Вторым важным параметром является удельное затухание. Эта величина характеризует потери уровня сигнала при его прохождении через один метр кабеля и позволяет сравнивать кабели разных марок. Затухание тем больше, чем длиннее кабель и чем выше частота сигнала. Удельное затухание измеряется в децибелах на метр (дБ/м) и приводится в справочниках в виде таблиц или графиков.

На рис. 6.15 представленны зависимости удельного затухания коаксиальных кабелей разных марок от частоты. Пользуясь ими, можно подсчитать затухание сигнала в кабеле на любой частоте при известной его длине.

Обозначение отечественного коаксиального кабеля состоит из букв и трех чисел: буквы РК обозначают радиочастотный коаксиальный кабель, первое число показывает волновое сопротивление кабеля в омах, второе – округленный внутренний диаметр оплетки в миллиметрах, третье – номер разработки. Из графика видно, что удельное затухание зависит от толщины кабеля: чем он толще, тем удельное затухание меньше.

Зная длину кабеля, можно перевести затухание из децибелов в относительное ослабление уровня сигнала на выходе, воспользовавшись табл. 6.1.

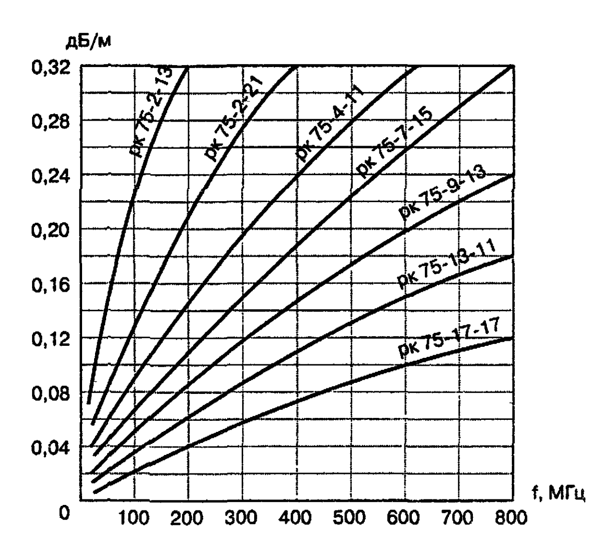


Рис. 6.15. Удельное затухание коаксиальных кабелей

Таблица 6.1. Таблица перевода затухания из децибелов в относительное ослабление уровня сигнала

Затухание, дБ	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное ослабление уровня сигнала $P_{вых}/P_{вх}$	0,94	0,79	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,13	0,1

Для практического определения волнового сопротивления любой неизвестной линии передачи, от коаксиального кабеля до пары скрученных проводов, можно также воспользоваться измерителем индуктивности и емкости. Волновое сопротивление линии с малыми потерями определяется по формуле

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

где Z – волновое сопротивление, Ом; L – индуктивность закороченной линии, Гн; C – емкость разомкнутой линии, Ф. Для расчета необходимо выполнить измерение индуктивности закороченного куска линии длиной 1–5 м, а затем измерить емкость

разомкнутого на конце куска. При меньшей или большей длине отрезка линии погрешность измерения увеличивается.

Например, волновое сопротивление сетевых шнуров питания лежит в пределах 30–60 Ом, большинства экранированных микрофонных шнуров – 40–70 Ом, телефонной пары – 70–100 Ом.

6.4. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

6.4.1. Мультиметр

В своей деятельности радиолюбителю придется использовать множество контрольных приборов различного типа для тестирования, измерения и обнаружения неисправностей в электронном оборудовании. Мультиметр (см. рис. 1.8а) – это прибор, который используется чаще всего. Он предназначен для измерения трех наиболее важных характеристик в любой электронной схеме: напряжения, тока и сопротивления. Большинство мультиметров могут измерять как постоянное, так и переменное (синусоидальное) напряжение, постоянный и переменный ток, а также сопротивление постоянному току. Два испытательных вывода от мультиметра подключаются к схеме или ее элементу для выполнения этих измерений. На рис. 6.16 показаны схемы присоединения приборов.

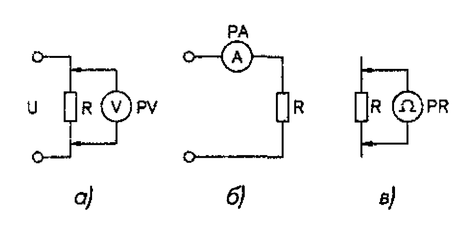


Рис. 6.16 Схемы присоединения приборов для измерения напряжения (а), тока (б) и сопротивления (в)

Мультиметр является универсальным прибором, который используется практически каждый день. Имеется два основных типа мультиметров для общего использования: аналоговый и цифровой.

Аналоговые мультиметры. В аналоговом мультиметре (тестер или стрелочный авометр – ампервольтомметр) применяется

стандартная измерительная шкала с указателем. Значения напряжения, тока или сопротивления отсчитываются от позиции указателя на измерительной шкале. Определение показаний аналогового мультиметра очень похоже на определение времени по стрелкам на часах. В случае часов приходится интерполировать число секунд между маркировками минут. Точно так же при работе с аналоговым мультиметром нужно определять или оценивать фактическое значение путем интерполирования между маркировками напряжений, токов или сопротивлений на измерительной шкале.

Аналоговые мультиметры все еще широко используются, поскольку они недороги и надежны в работе. Их основным недостатком является то, что они имеют невысокую точность и большой разброс при измерениях. Обычно погрешность аналогового мультиметра составляет менее 2% от пределов измерения по шкале прибора, что вполне приемлемо в большинстве практических применений. Тем не менее во многих случаях желательны более точные измерения.

Цифровые мультиметры. Цифровой мультиметр подобен аналоговому в том отношении, что он также является универсальным измерительным прибором, способным измерять напряжение, ток и сопротивление. Основным отличием является то, что результаты измерений выводятся на индикаторную панель десятичной цифровой индикации. В большинстве цифровых мультиметров имеется жидкокристаллический индикатор (дисплей). Значение тока, напряжения или сопротивления выводится в виде десятичных цифр на семисегментные индикаторы. Индикация в более старых цифровых мультиметрах осуществляется с использованием индикаторов на светоизлучающих диодах. В некоторых стендовых больших мультиметрах все еще используются светодиодные индикаторы.

В дополнение к удобствам, связанным с использованием десятичных дисплеев, цифровые мультиметры обеспечивают также более высокую точность измерений. Хороший цифровой мультиметр обеспечивает точность измерений 0,5–1% от фактического значения. Такие точные измерения предпочтительны при тестировании электронных схем, поскольку они дают наилучшую информацию об их состоянии. Цифровые мультиметры имеют также более высокую разрешающую способность

измерительной системы, что обеспечивает более точные измерения.

Большинство мультиметров позволяют также измерять основные параметры транзисторов: коэффициент передачи тока базы $h_{21э}$, обратный ток коллектора $I_{КО}$ и обратный ток эмиттера $I_{ЭО}$.

При использовании мультиметра для измерения напряжений синусоидальных сигналов необходимо иметь в виду, что представляемая на индикации величина является эффективным (среднеквадратическим) значением. Также необходимо знать, что мультиметр имеет ограничение по высокой частоте. Это предельное значение частоты варьирует от прибора к прибору, однако обычно оно не превышает нескольких килогерц.

6.4.2. Мегаомметр

Мегаомметр используется для измерения сопротивления изоляции проводов или кабелей с целью определения их пригодности к использованию. Следует отметить некоторые особенности при работе с мегаомметром. В нем вырабатывает высокое напряжение, и если в установке, где производится измерение, есть элементы, которые могут быть повреждены этим напряжением, например конденсаторы и полупроводниковые приборы, то они должны быть отсоединены или их выводы закорочены проводом.

Не допускается пользоваться загрязненным и покрытым влагой прибором, так как это может исказить показания. Перед измерением прибор должен быть проверен соединением концов его проводов при вращении рукоятки, при этом стрелка прибора должна показать «нуль», а при рассоединении проводов – «бесконечность». Чтобы прибор вырабатывал нужное напряжение, его рукоятку необходимо вращать с частотой не меньше, чем указана на щитке со шкалой.

6.4.3. Измерение емкости и индуктивности

В практических схемах измерителей напряжение треугольной формы прикладывается к измеряемой емкости, при этом проходящий через нее ток имеет форму меандра, и его амплитуда пропорциональна измеряемой емкости. При измерении индуктивности через нее пропускается ток треугольной формы,

падение напряжения на индуктивности имеет форму меандра и пропорционально ее величине. Измеряемая емкость и эталонный резистор подключаются в соответствии с рис. 6.17а, а индуктивность – по схеме рис. 6.17б.

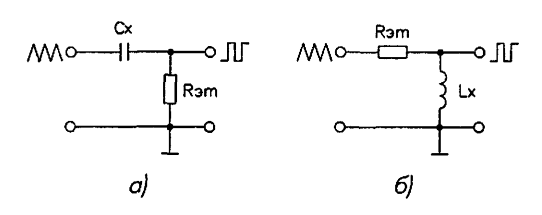


Рис. 6.17. Принцип измерения емкости (а) и индуктивности (б)

6.4.4. Осциллограф

Осциллограф (см. рис. 1.6а) становится относительно простым в использовании прибором после первого знакомства с ним. Затруднение может вызывать лишь изучение и запоминание функции каждого из различных органов управления на передней панели, где имеется множество ручек, лимбов, переключателей, кнопок и соединителей. Для непосвященных это кажется очень трудным. Изучите назначение каждого органа управления и проследите за картинкой на экране при использовании этих ручек. В результате вы быстро все поймете. Одним из лучших способов изучения функций и методов использования осциллографа является получение по возможности большего опыта во время практической работы.

Желательно использовать осциллограф двухканального типа, так как он позволяет одновременно наблюдать два отдельных сигнала. Следовательно, он имеет два входных кабеля и соединителя. Обычно они маркируются как канал 1 и 2 или А и В. Различают два основных типа кабелей – прямой и аттенюаторный.

Соединитель прямого типа является коаксиальным кабелем с двумя выводами, которые обычно имеют концевую заделку в виде щупов-наконечников или посредством зажимов типа «крокодил» для подключения к схеме. В любом случае данный кабель подводит сигнал, который должен воспроизводиться на экране, напрямую (без ослабления) к осциллографу.

С аттенюаторным типом соединителя также используется коаксиальный кабель, но в общем случае применяется щуп вместо зажимов типа «крокодил». Узел щупа содержит последовательный резистор с большим сопротивлением, которое вместе с полным входным сопротивлением осциллографа формирует делитель напряжения. Таким образом, данный щуп и кабель выполняют ослабление (аттенюацию) сигнала в 10 раз.

Преимуществом данного кабеля является то, что он создает меньшую емкостную нагрузку для схем высокой частоты, позволяя визуализировать высокочастотные сигналы и сложные формы сигнала. Чтобы провести корректное измерение амплитуды сигнала, не забудьте полученное значение умножить на 10.

Измерение амплитуды. Для амплитудных измерений используется откалиброванная или координатная сетка на экране электронно-лучевой трубки для определения числа делений между максимальными положительным и отрицательным отклонениями сигнала (такое измерение называется измерением размаха или двойной амплитуды сигнала).

Осциллограф визуализирует на экране синусоидальный сигнал. Это наиболее легкий и более точный метод для измерения его размаха. Прибор позволяет видеть сигнал, а также любой шум, искажение или помехи, которые могут его сопровождать. Он может выполнять измерения напряжений сигналов с частотой до нескольких сот мегагерц.

В отличие от мультиметра осциллограф не позволяет измерить ток. Единственный способ сделать это при помощи осциллографа – измерить напряжение на участке цепи, преобразовать размах в эффективное значение, а затем разделить его на известное сопротивление участка цепи.

При выполнении тестов и измерений в электронике обычно является необходимым преобразование эффективных значении в значения размаха и наоборот. Эффективные значения напряжения и тока связаны с значениями размаха следующими соотношениями:

$U_{PP} = 2{,}828\ U_{RMS}$,

$I_{PP} = 2{,}828\ I_{RMS}$,

$U_{RMS} = 0{,}3535\ U_{PP}$,

$I_{RMS} = 0{,}3535\ I_{PP}$,

где индексы *PP* – размах, *RMS* – эффективное значение.

Измерение частоты. Для измерений частоты F на осциллографе сначала нужно измерить период T сигнала. Период – это время одного цикла. Самый простой способ сделать это – подсчитать количество горизонтальных делений между двумя последовательными пиками сигнала. Тогда частота $F = 1/T$.

ГЛАВА СТРАНИЦА

7 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

7.1. РАСЧЕТЫ НАМОТОЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

7.1.1. Расчетные формулы при работе с проволокой

Расчеты по формуле более верны, чем по таблице, и необходимы в тех случаях, когда в таблицах отсутствуют точные данные.

Сопротивление провода (в омах) вычисляется по формуле

$$R = \frac{\rho l}{S} \text{ или } R = \frac{1,27\rho l}{d^2},$$

где ρ – удельное сопротивление по таблице, Ом·м; l – длина провода, м; S – площадь поперечного сечения провода, мм²; d – диаметр провода, мм.

Длина провода из этих выражений определяется по формулам

$$l = \frac{RS}{\rho} \text{ или } l = \frac{0,785Rd^2}{\rho}.$$

Площадь поперечного сечения подсчитывается по формуле

$$S = 0,785d^2.$$

Сопротивление провода R_2 при температуре t_2 может быть определено по формуле

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(t_2 - t_1)),$$

где α – температурный коэффициент электросопротивления (табл. 7.1), R_1 – сопротивление при некоторой начальной температуре t_1.

Обычно за t_1 принимают 18 °С, и во всех приведенных таблицах указана величина R_1 для этого значения.

Допустимую силу тока при заданной норме плотности тока Δ (А/мм²) находят по формуле

$$I = 0,785\Delta d^2.$$

Необходимый диаметр провода по заданной силе тока определяют по формуле

$$d = \sqrt{\frac{1,27I}{\Delta}}.$$

Таблица 7.1. Характеристика некоторых токопроводящих материалов

Материал	Удельное сопротивление ρ, Омхмм²/м	Удельный вес, г/см³	Температурный коэффициент электросопротивления (α)	Температура плавления, °С	Максимальная рабочая температура, °С
Медь	0,0175	8,9	+0,004	1085	–
Алюминий	0,0281	2,7	+0,004	658	–
Железо	0,135	7,8	+0,005	1530	–
Сталь	0,176	7,95	+0,0052	–	–
Никелин	0,4	8,8	+0,00022	1100	200
Константан	0,49	8,9	–0,000005	1200	200
Манганин	0,43	8,4	+0,00002	910	110
Нихром	1,1	8,2	+0,00017	1550	1000

Если норма нагрузки Δ = 2 А/мм², то формула принимает вид

$$d = 0{,}8\sqrt{I}.$$

Ток плавления для тонких проволочек с диаметром до 0,2 мм подсчитывается по формуле

$$I_{ПЛ} = \frac{d - 0{,}005}{k},$$

где d – диаметр провода, мм; k – постоянный коэффициент, составляющий для меди 0,034, для никеля – 0,07, для железа – 0,127.

Диаметр провода отсюда будет

$$d = kI_{ПЛ} + 0{,}005.$$

7.1.2. Электрические расчеты нагревательных элементов

Электронагреватели широко используются в таких электроприборах, как чайник, утюг, камин, плитка, паяльник и т.д. Радиолюбителю довольно часто приходится сталкиваться с проблемой их расчета.

При прохождении тока через неподвижные металлические проводники единственным результатом работы тока является нагревание этих проводников, и, следовательно, по закону сохранения энергии вся работа, совершенная током, превращается в тепло.

Работа (в джоулях), совершаемая током при прохождении через участок цепи, вычисляется по формуле

$$A = UIt,$$

где U – напряжение, В; I – сила тока, А; t – время, с.

Количество теплоты (в джоулях), выделенное в проводнике при прохождении электрического тока, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока и вычисляется по закону Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2Rt,$$

где R – сопротивление проводника, Ом.

В качестве примера произведем расчет количества теплоты, требуемой для того, чтобы вскипятить воду в двухлитровом чайнике. Напряжение сети $U = 220$ В. Ток, потребляемый электрочайником, $I = 4$ А. Необходимо определить время закипания воды, если КПД чайника 80%, начальная температура воды 20 °C, удельная теплоемкость воды $C = 4200$.

Определим количество теплоты, необходимое для нагрева воды до температуры кипения:

$$Q = Cm(t_{КИП} - t_0) = 4200 \times 2(100 - 20) = 672000 \text{ Дж}.$$

Затем найдем общее количество теплоты, которое должен выделить нагревательный элемент электрочайника, с учетом потерь на нагрев керамики, корпуса и внешней среды:

$$Q_{ОБЩ} = \frac{Q}{КПД} = \frac{672000}{0{,}8} = 840000 \text{ Дж}.$$

Вычислим время закипания воды в чайнике, используя закон Джоуля–Ленца:

$$Q_{ОБЩ} = A = UIt.$$

Отсюда находим время t:

$$t = \frac{Q_{ОБШ}}{UI} = \frac{840000}{220 \cdot 4} = 954 \text{ с} = 15 \text{ мин } 54 \text{ с}.$$

Мощность электрического тока. Зная работу, совершаемую током за некоторый промежуток времени, можно рассчитать и его

мощность, под которой, как и в механике, понимают работу, выполняемую за единицу времени. Из формулы, определяющей работу постоянного тока, следует, что мощность его равна

$$P = \frac{A}{t} = UI .$$

Нередко говорят о мощности тока, потребляемого от сети, имея в виду, что при помощи электрического тока нагреваются утюги, электроплитки и т.д. В соответствии с этим на приборах нередко обозначается их мощность, то есть мощность тока, необходимая для их нормального функционирования. Так, например, для нормальной работы электроплитки на 220 В мощностью 500 Вт требуется ток около 2,3 А при напряжении 220 Вт. На практике применяют более крупные единицы мощности:

- 1 гВт (гектоватт) = 100 Вт;
- 1 кВт (киловатт) = 1000 Вт.

Таким образом, 1 Вт есть мощность, выделяемая током 1 А в проводнике, между концами которого поддерживается напряжение 1 В.

Единица работы, совершаемая электрическим током в течение 1 с при помощи 1 Вт, называется *ватт-секундой*, или джоулем. Применяют более крупные единицы работы: 1 Вт/ч (ватт/час) или 1 кВт/ч (киловатт/час), который равен работе, совершаемой электрическим током в течение 1 ч при мощности 1 кВт.

Длину и диаметр проволоки нагревательного элемента рассчитывают исходя из величины напряжения сети и его заданной мощности.

Основные данные для расчета нагревательных элементов приведены в табл. 7.2.

Сила тока при данном напряжении и мощности определяется по формуле

$$I = \frac{P}{U} .$$

Омическое сопротивление проводника всегда вычисляется по формуле

$$R = \frac{U}{I}.$$

Зная величину тока, можно найти диаметр и сечение проволоки (см. табл. 7.2).

Таблица 7.2. Данные для расчета нагревательных элементов

Допустимая сила тока, А	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр нихромовой проволоки при температуре 700 °С, мм	0,17	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85
Площадь поперечного сечения проволоки, мм²	0,0227	0,0707	0,159	0,238	0,332	0,442	0,57

Подставляя полученные данные в формулу

$$l = \frac{SR}{\rho},$$

где l – длина проволоки, м; S – сечение проволоки, мм²; R – сопротивление проволоки, Ом; ρ – удельное сопротивление проволоки (для нихрома ρ = 1,1, для фехраля ρ = 1,3), Ом×мм²/м, получим необходимую длину проволоки для нагревательного элемента.

Пример. Необходимо определить длину проволоки из нихрома для нагревательного элемента плитки мощностью P = 600 Вт при напряжении сети U = 220 В.

$$I = \frac{600}{220} = 2{,}72\ \text{А}; \quad R = \frac{220}{2{,}72} = 81\ \text{Ом}.$$

По этим данным находим диаметр и сечение проволоки: d = 0,45 мм, S = 0,159 мм². Тогда длина проволоки будет равна

$$l = \frac{0{,}159 \cdot 81}{1{,}1} = 11{,}6\ \text{м}.$$

Таким же образом можно рассчитать нагревательные элементы и для других электроприборов.

При выборе сечения монтажных проводов необходимо учитывать величину силы тока, проходящего по ним. В табл. 7.3

приведены максимально допустимые токи нагрузки для медных проводов различного сечения.

Таблица 7.3. Допустимые токи нагрузки монтажных медных проводов

Сечение провода, мм²	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	4	6	10
Наибольший допустимый ток, А	0,7	1	1,3	2,5	3,5	4	5	7	10	14	17	20	25	30	54

7.1.3. Расчет катушек индуктивности

Индуктивность катушки зависит от ее размеров, количества витков и способа намотки. Чем больше эти параметры, тем выше индуктивность. Если катушка наматывается плотно виток к витку, то индуктивность ее будет больше по сравнению с катушкой, намотанной неплотно, с промежутками между витками. Когда требуется изготовить катушку по заданным размерам и нет провода нужного диаметра, то при использовании более толстого провода надо сделать больше витков, а тонкого – уменьшить их количество, чтобы получить необходимую индуктивность. Все приведенные выше рекомендации справедливы при намотке катушек без ферритовых сердечников.

Расчет *однослойных цилиндрических катушек* производится по формуле

$$L = \frac{D^2 \times n^2}{45D + 100l},$$

где L – индуктивность катушки, мкГн; D – диаметр катушки, см; l – длина намотки катушки, см; n – число витков катушки.

Расчет катушки выполняется в следующих случаях:

- *по заданным геометрическим размерам* необходимо определить индуктивность катушки;
- при известной индуктивности требуется определить число витков и диаметр провода катушки.

В первом случае все исходные данные, входящие в формулу, известны, и расчет не представляет затруднений.

Пример. Определим индуктивность катушки, изображенной на рис. 7.1, где l = 2 см, D = 1,8 см, число витков n = 20. Подставив в формулу все необходимые величины, получим

$$L = \frac{1{,}8^2 \times 20^2}{45 \times 1{,}8 + 100 \times 2} \approx 4{,}6 \text{ мкГн}.$$

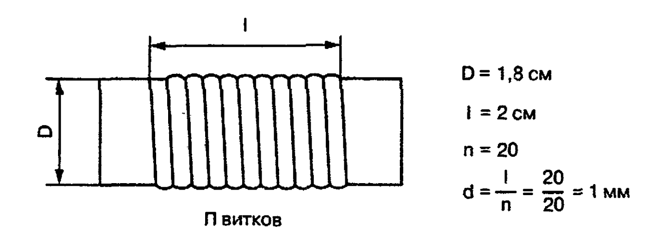


Рис. 7.1. Катушка индуктивности

Во втором случае известны диаметр катушки и длина намотки, которая, в свою очередь, зависит от числа витков и диаметра провода. Поэтому расчет рекомендуется проводить по следующей схеме. Исходя из конструкции изготавливаемого прибора, определяют размеры катушки (диаметр и длину намотки), а затем рассчитывают число витков по следующей формуле:

$$n = \frac{\sqrt{5L(9D + 20l)}}{D}.$$

Определив число витков, вычисляют диаметр провода с изоляцией по формуле

$$d = \frac{l}{n},$$

где d – диаметр провода, мм; l – длина обмотки, мм; n – число витков.

Пример. Нужно изготовить катушку диаметром 1 см при длине намотки 2 см, имеющую индуктивность 0,8 мкГн. Намотка рядовая, виток к витку.

Подставив в последнюю формулу заданные величины, получим

$$n = \frac{\sqrt{5\times0{,}8(9\times1+20\times2)}}{1} = 14 \text{ витков}.$$

Диаметр провода

$$d = \frac{20}{14} = 1{,}43 \text{ мм}.$$

Если катушку наматывать проводом меньшего диаметра, то нужно полученные расчетным путем 14 витков разместить по всей ее длине (20 мм) с равными промежутками между витками, то есть с большим шагом намотки. Индуктивность данной катушки будет на 1–2% меньше номинальной, что следует учитывать при ее изготовлении. Если для намотки берется провод большего диаметра, чем 1,43 мм, следует сделать новый расчет, увеличив диаметр или длину намотки катушки. Возможно, придется увеличить и то, и другое одновременно, пока не будут получены необходимые габариты катушки, соответствующие заданной индуктивности.

Следует заметить, что по приведенным выше формулам рекомендуется рассчитывать катушки, у которых длина намотки l равна половине диаметра или превышает эту величину. Если же она меньше половины диаметра, то более точные результаты можно получить по формулам

$$L = \frac{D^2\times n^2}{10(4D+11l)} \text{ и } n = \frac{\sqrt{10L(4D+11l)}}{D}.$$

7.1.4. Пересчет катушек индуктивности

Пересчет катушек индуктивности производится при отсутствии провода нужного диаметра, указанного в описании конструкции, и замене его проводом другого диаметра, а также при изменении диаметра каркаса катушки.

Если отсутствует провод нужного диаметра, можно воспользоваться другим. Изменение диаметра в пределах до 25% в ту

или другую сторону вполне допустимо и, как правило, не отражается на качестве работы. Более того, увеличение диаметра провода допустимо во всех случаях, так как при этом уменьшается омическое сопротивление катушки и повышается ее добротность. Уменьшение же диаметра ухудшает добротность и увеличивает плотность тока на единицу сечения провода, которая не может быть больше допустимой величины.

Пересчет количества витков однослойной цилиндрической катушки при замене провода одного диаметра другим производится по формуле

$$n = n_1 \sqrt{\frac{d}{d_1}},$$

где n – новое количество витков катушки; n_1 – число витков катушки, указанное в описании; d – диаметр имеющегося провода; d_1 – диаметр провода, указанного в описании.

В качестве примера приведем пересчет числа витков катушки, изображенной на рис. 7.1, для провода диаметром 0,8 мм

$$n = 20\sqrt{\frac{0{,}8}{1}} \approx 18\,\text{витков},$$

(длина намотки $l = 18 \times 0{,}8 = 14{,}4$ мм).

Таким образом, количество витков и длина намотки несколько уменьшились. Для проверки правильности пересчета рекомендуется выполнить новый расчет катушки с измененным диаметром провода:

$$L = \frac{1{,}8^2 \times 18^2}{45 \times 1{,}8 + 100 \times 1{,}44} \approx 4{,}6\,\text{мкГн}.$$

Это подтверждают и соображения, приведенные в предыдущем разделе.

При пересчете катушки, связанном с изменением ее диаметра, следует пользоваться процентной зависимостью между диаметром и числом витков. Эта зависимость заключается в следующем: при увеличении диаметра катушки на определенное число процентов количество витков уменьшается на столько же процентов, и, наоборот, при уменьшении диаметра на равное число процентов увеличивается количество витков. Для

упрощения расчетов за диаметр катушки можно принимать *диаметр каркаса.*

В качестве примера произведем пересчет числа витков катушки, имеющей 40 витков при длине намотки 2 см и диаметр каркаса 1,5 см, на диаметр, равный 1,8 см. Согласно условиям пересчета диаметр каркаса увеличивается на 3 мм, или на 20%. Следовательно, для сохранения неизменной величины индуктивности этой катушки при намотке на каркас большого диаметра нужно уменьшить число витков на 20%, или на 8 витков. Новая катушка будет иметь 32 витка. Длина намотки также уменьшится на 20%, или до 1,6 см.

Проверим пересчет и определим допущенную погрешность. Исходная катушка имеет индуктивность:

$$L = \frac{1{,}5^2 \times 40^2}{45 \times 1{,}5 + 100 \times 2} \approx 13{,}45\,\text{мкГн}.$$

Индуктивность новой катушки на каркасе с увеличенным диаметром:

$$L = \frac{1{,}8^2 \times 32^2}{45 \times 1{,}8 + 100 \times 1{,}6} \approx 13{,}77\,\text{мкГн}.$$

Ошибка при пересчете составляет 0,32 мкГн, то есть меньше 2,5%, что вполне допустимо для расчетов в радиолюбительской практике.

7.1.5. Расчет маломощных трансформаторов питания

Целью расчета является получение заданных выходных параметров трансформатора (для сети с частотой 50 Гц) при его минимальных габаритах и массе. Расчет трансформатора целесообразно начать с выбора магнитопровода, то есть определения его конфигурации и геометрических размеров.

Для малых мощностей, от единиц до десятков ватт, наиболее удобны броневые трансформаторы. Они имеют один каркас с обмотками и просты в изготовлении. Трансформатор с кольцевым сердечником (торроидальный) может использоваться при мощностях от 30 до 1000 Вт, когда требуется минимальное рассеяние магнитного потока или когда трёбование минимального объема является первостепенным. Имея некоторые преимущества в объеме и массе перед другими типами конструкций

трансформаторов, торроидальные являются вместе с тем и наименее технологичными (удобными) в изготовлении.

Исходные начальные данные для упрощенного расчета следующие:

- выходное напряжение (напряжение вторичной обмотки) U_2;
- ток вторичной обмотки I_2;
- номинальная мощность трансформатора $P_{НОМ}$;
- КПД;
- падение напряжения.

Номинальной мощностью трансформатора питания называют сумму номинальных мощностей вторичных обмоток:

$$P_{НОМ} = \sum_{i=2}^{n} P_i ,$$

где $P_i = U_i I_i$, U_i – напряжение i-й вторичной обмотки, I_i – ток i-й вторичной обмотки.

КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{P_{НОМ}}{P_{НОМ} + P_{МП} + P_{ОБ}} ,$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора; $P_{МП}$ – мощность потерь в магнитопроводе; $P_{ОБ}$ – мощность потерь в обмотках.

Падение напряжения ΔU, выраженное в относительных единицах, показывает степень изменения выходного напряжения при полном изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения:

$$\Delta U = \frac{P_{ОБ}}{P_{НОМ}} .$$

Масса и габаритные размеры трансформатора зависят от номинальной мощности, напряжения, КПД и допустимой температуры перегрева трансформатора.

Расчет трансформаторов питания можно проводить различными способами.

Первый способ. Определяем номинальную мощность трансформатора $P_{НОМ}$ и вычисляем произведение:

$$S_M S_{OK} = \frac{45 P_{HOM}}{f B_m j k_{OK} k_M},$$

где S_M – площадь сечения магнитопровода, см²; S_{OK} – площадь окна магнитопровода, см²; P_{HOM} – номинальная мощность, Вт; f – частота питающей сети, Гц; B_m – амплитуда магнитной индукции в магнитопроводе, Т; j – плотность тока в обмотках, А/мм²; k_{OK} – коэффициент заполнения окна магнитопровода; k_M – коэффициент заполнения сечения магнитопровода. Коэффициент B_m можно выбрать по графику (рис. 7.2) в зависимости от значения габаритной мощности трансформатора и марки стали. Габаритная мощность определяется как

$$P_Г = (1{,}05 - 1{,}3) P_{HOM}.$$

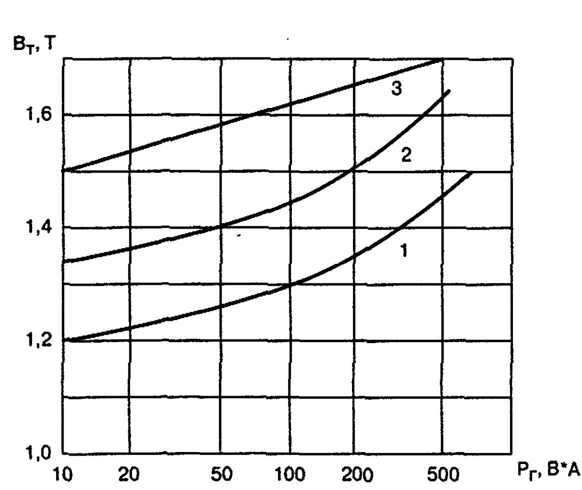


Рис. 7.2. График для выбора индукции в зависимости от габаритной мощности трансформатора при частоте тока 50 Гц для стали: 1 – Э41, Э43; 2, 3 – Э310 (2 – магнитапровод из пластин, 3 – ленточный магнитопровод)

Для кольцевых (тороидальных) трансформаторов коэффициент B_m можно принять равным 1,7.

Плотность тока в обмотках (А/мм²) выбирается из табл. 7.4. Коэффициент k_{OK} (табл. 7.5) тем меньше, чем тоньше провода обмоток (чем меньше номинальная мощность трансформатора).

Коэффициент k_M зависит от типа магнитопровода, толщины пластин (лент) стали и вида их изоляции (табл. 7.6).

Таблица 7.4. Значение плотности тока в обмотках

Тип магнитопровода	Плотность тока j при выходной мощности, Вт				
	5–15	15–50	50–150	150–300	>300
Броневой пластинчатый	3,9–3,0	3,0–2,4	2,4–2,0	2,0–1,7	1,7–1,4
Броневой ленточный	3,8–3,5	3,5–2,7	2,7–2,4	2,4–2,3	2,3–1,8
Кольцевой (тороидальный)	5,0–4,5		4,5–3,5	3,5	3,0

Таблица 7.5. Значение коэффициента $k_{ОК}$ для обмоток, выполненных проводом круглого сечения с эмалевой изоляцией

Тип магнитопровода	Рабочее напряжение, В	Коэффициент $k_{ок}$ при выходной мощности, Вт				
		5–15	15–50	50–150	150–300	>300
Броневой пластинчатый	<100	0,22–0,29	0,29–0,30	0,30–0,32	0,32–0,34	0,34–0,38
	100–1000	0,19–0,25	0,25–0,26	0,26–0,27	0,27–0,30	0,30–0,33
Броневой ленточный	<100	0,15–0,27	0,27–0,29	0,29–0,32	0,32–0,34	0,34–0,38
	100–1000	0,13–0,23	0,23–0,26	0,26–0,27	0,27–0,30	0,30–0,33
Кольцевой (тороидалный)	–	0,18–0,20	0,20–0,26	0,26–0,27	0,27–0,28	

Таблица 7.6. Значение коэффициента k_M

Тип магнитопровода и вид изоляции		Коэффициент $k_м$ при толщине пластин, мм				
		0,08	0,1	0,15	0,2	0,35
Броневой пластинчатый	Лак	–	0,7	–	0,85	0,9
	Фосфатная пленка	–	0,75	–	0,89	0,95
Броневой ленточный		0,87	–	0,9	0,91	0,93
Кольцевой (тороидальный)		0,85	0,85	0,88	0,88	0,88

Выбираем размеры магнитопровода (см. табл. 5.2–5.6). Для маломощных трансформаторов рекомендуются броневые магнитопроводы, позволяющие без особых денежных затрат изготовить трансформаторы меньших размеров и массы. Для выбранного магнитопровода должно выполняться условие

$$yy_1bh > S_M S_{OK}.$$

Отношение y_1/y не должно превышать 2–2,5. В противном случае следует выбрать пластины большего размера. Для кольцевых магнитопроводов должно выполняться условие

$$(D-d)d^2b > 3S_M S_{OK},$$

Определяем число витков обмоток:

$$\omega_i = \frac{2200U_i}{fB_m S_M},$$

где U_i – напряжение на i-й обмотке, В; f – частота, Гц; B_m – амплитуда магнитной индукции, Т; S_M – площадь, см^2. Число витков вторичных обмоток следует увеличить на 2–5%, чтобы учесть внутреннее падение напряжения. Наибольшее значение относится к трансформаторам с номинальной мощностью до 10 В·А, наименьшее – к трансформаторам с номинальной мощностью не менее 200 В·А.

Определяем диаметры проводов обмоток:

$$d_i = 1{,}13\sqrt{\frac{I_i}{j}},$$

где I_i – ток в i-й обмотке, А; j – плотность тока, А/мм^2. Ток в первичной обмотке приметно равен $1{,}1P_{НОМ}/U_i$. Из табл. П4.4 выбираем ближайшее большее значение диаметра провода.

Проверяем размещение обмоток на магнитопроводе. Число витков в слое цилиндрической обмотки

$$\omega_{СЛ} = \frac{h-2(\delta_K - 1)}{1{,}3\delta_{ИЗ}},$$

где h – высота окна, мм; δ_K – толщина материала каркаса, мм; $\delta_{ИЗ}$ – диаметр провода с изоляцией, мм. Число слоев обмотки $N_{СЛ} = \omega/\omega_{СЛ}$, где ω – число витков обмотки. Толщина обмотки $\delta_{ОБ} = N_{СЛ}(\delta_{ИЗ} + d_{ИЗ})$, где $d_{ИЗ}$ – толщина изоляции между слоями. Должно выполняться следующее условие

$$b \geq \delta_K + \Sigma\delta_{ОБ} + \delta_{ПР},$$

где $\Sigma\delta_{ОБ}$ – суммарная толщина всех обмоток; $\delta_{ПР}$ – суммарная толщина всех прокладок между обмотками; b – ширина окна. Если это условие не выполняется, следует увеличить размеры магнитопровода и сделать повторный расчет трансформатора.

Второй способ. Для упрощения расчетов примем, что трансформатор имеет только одну вторичную обмотку. Зная необходимое напряжение на вторичной обмотке U_2 и максимальный ток нагрузки I_H, трансформатор рассчитывают в следующей последовательности.

Определяем значение тока, текущего через вторичную обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1{,}5 I_H .$$

Находим мощность, потребляемую выпрямителем от вторичной обмотки трансформатора:

$$P_2 = U_2 I_2 .$$

Рассчитываем номинальную мощность трансформатора:

$$P_{HOM} = 1{,}25 P_2 .$$

Если трансформатор должен иметь несколько вторичных обмоток, то сначала подсчитываем их суммарную мощность, а затем мощность самого трансформатора. Определяем значение тока, текущего в первичной обмотке:

$$I_1 = \frac{P_{HOM}}{U_1},$$

где U_1 – напряжение на первичной обмотке трансформатора (сетевое напряжение). Рассчитываем необходимую площадь сечения сердечника магнитопровода:

$$S = 1{,}3 P_{HOM} .$$

Определяем число витков первичной (сетевой) обмотки:

$$\omega_1 = \frac{50 U_1}{S},$$

где S – сечение сердечника магнитопровода, см^2. Подсчитываем число витков вторичной обмотки:

$$\omega_2 = \frac{55 U_2}{S}.$$

Определяем диаметры проводов обмоток трансформатора (в мм):

$$d = 0{,}02I,$$

где I – ток через обмотку, мА.

После этого можно приступить к подбору подходящих трансформаторных пластин и провода, изготовлению каркаса и, наконец, выполнению обмоток. Но Ш-образные пластины имеют неодинаковую площадь окна, поэтому нужно проверить, подойдут ли они для рассчитанного трансформатора, то есть разместится ли провод на каркасе. Для этого достаточно подсчитанную ранее мощность трансформатора умножить на 50 – получится необходимая площадь окна, выраженная в квадратных миллиметрах. Если в подобранных пластинах она больше или равна вычисленной, их можно использовать для трансформатора. При выборе сердечника магнитопровода нужно также учитывать и то обстоятельство, что отношение ширины сердечника к толщине набора (отношение сторон сердечника) должно быть в пределах 1–2.

Разумеется, можно использовать уже готовые сетевые низковольтные трансформаторы питания на частоту 50 Гц типа ТПП2хх-220-50 или ТПП3хх-220-50.

В качестве трансформаторов питания радиолюбители часто используют унифицированные выходные трансформаторы кадровой развертки телевизоров (трансформаторы ТВК). Промышленность выпускает несколько видов таких трансформаторов, и каждый из них при работе с выпрямителем, выполненным по мостовой схеме, позволяет получить на нагрузке вполне определенные напряжения в зависимости от потребляемого тока. Эти параметры сведены в табл. 7.7, которая поможет в выборе трансформатора ТВК для того или иного блока питания.

Таблица 7.7. Значение выпрямленного напряжения в зависимости от потребляемого тока

Трансформатор	Выпрямленное напряжение при токе нагрузки, А				
	0	0,3	0,5	0,8	1,0
ТВК-70Л2	14	11,5	10,5	9	8
ТВК-110Л1	28	26	25	24	23
ТВК-110Л2	17	15	14	13,5	12,5

7.1.6. Расчет тороидальных трансформаторов (по таблице)

При изготовлении малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры лучше всего использовать трансформаторы с тороидальным магнитопроводом. По сравнению с броневыми сердечниками из Ш-образных пластин они имеют меньший вес и габариты, обладают повышенным КПД, а их обмотка лучше охлаждается. Кроме того, при равномерном распределении обмоток по периметру сердечника практически отсутствует поле рассеяния и в большинстве случаев отпадает необходимость в экранировании трансформаторов.

Полный расчет силовых трансформаторов на тороидальных сердечниках громоздок и сложен, поэтому в книге приводится таблица, с помощью которой легко рассчитать тороидальный трансформатор мощностью до 120 Вт. Точность расчетов достаточна для любительской практики. Нахождение параметров тороидального трансформатора, не вошедших в таблицу, аналогично расчету трансформатора на Ш-образном сердечнике.

Таблицей можно пользоваться при расчете трансформаторов на сердечниках из холоднокатаной стали Э340, Э350, Э360 с толщиной ленты 0,05–0,1 мм при частоте питающей сети 50 Гц. При намотке трансформаторов допустимо применять лишь межобмоточную и наружную изоляции. Хотя межслоевая изоляция и позволяет добиться более ровной укладки провода обмоток, из-за различия наружного и внутреннего диаметров сердечника при ее применении неизбежно увеличивается толщина намотки по внутреннему диаметру.

Для намотки тороидальных трансформаторов необходимо применять обмоточные провода с повышенной механической и электрической прочностью изоляции. При намотке вручную следует пользоваться проводами ПЭЛШО, ПЭШО. В крайнем случае можно применить провод ПЭВ-2. В качестве межобмоточной и внешней изоляции можно использовать фторопластовую пленку ПЭТ толщиной 0,01–0,02 мм, лакоткань ЛШСС толщиной 0,06–0,012 мм или батистовую ленту.

Пример расчета трансформатора. Дано напряжение питающей сети $U_c = 220$ В, выходное напряжение $U_{вых} = 12$ В, ток нагрузки $I_н = 3{,}6$ А.

Сначала определяем мощность вторичной обмотки

$$P = U_{ВЫХ} \times I_H = 12 \times 3{,}6 = 43{,}2 \text{ Вт}.$$

Далее определяем габаритную мощность трансформатора

$$P_Г = \frac{P}{\eta} = \frac{43{,}2}{0{,}92} = 48 \text{ Вт}.$$

Величину КПД и другие необходимые для расчета данные выбираем в табл. 7.8 из нужной графы ряда габаритных мощностей.

Таблица 7.8. Таблица для расчета тороидальных трансформаторов

$P_г$, Вт	ω_1	ω_2	S, см²	Δ, А×мм²	η, %
До 10	$\frac{41}{S}$	$\frac{38}{S}$	$\sqrt{P_г}$	4,5	0,8
20–30	$\frac{36}{S}$	$\frac{32}{S}$	$\frac{\sqrt{P_г}}{1{,}1}$	4	0,9
30–50	$\frac{33{,}3}{S}$	$\frac{29}{S}$	$\frac{\sqrt{P_г}}{1{,}2}$	3,5	0,92
50–120	$\frac{32}{S}$	$\frac{28}{S}$	$\frac{\sqrt{P_г}}{1{,}25}$	3	0,95

Примечание к табл. $P_г$ – габаритная мощность трансформатора; ω_1 – число витков на вольт для стали Э310, Э320, Э330; ω_2 – число витков на вольт для стали Э340, Э350, Э360; S – площадь сечения сердечника; Δ – допустимая плотность тока в обмотках; η – КПД трансформатора.

Находим площадь сечения сердечника:

$$S_{РАСЧ} = \frac{\sqrt{P_Г}}{12} = \frac{\sqrt{48}}{12} = 5{,}8 \text{ см}^2.$$

Подбираем размеры сердечника *D*, *d* и *h*:

$$S = \frac{D-d}{2}h.$$

Ближайший стандартный тип сердечника – ОЛ50/80-40, площадь сечения которого равна

$$S = \frac{8-5}{2}4 = 6 \text{ см}^2$$ (не менее расчетной).

При определении внутреннего диаметра сердечника должно быть выполнено следующее условие

$$d \geq d^1 = \sqrt{2{,}4S} = \sqrt{2{,}4 \times 6} = 3{,}8\,\text{см}\ ,$$

то есть 5 > 3,8.

Предположим, выбран сердечник из стали Э320, тогда число витков на вольт определяют по формуле

$$\omega_1 = \frac{33{,}3}{S} = \frac{33{,}3}{6} \approx 5{,}55 \text{ витка на вольт.}$$

Находим расчетные числа количества витков первичной и вторичной обмоток:

$$w_1 = \omega_1 \times U_1 = 5{,}55 \times 220 = 1221\,,$$
$$w_2 = \omega_1 \times U_2 = 5{,}55 \times 12 = 66\,.$$

Так как в тороидальных трансформаторах поток рассеяния весьма мал, то падение напряжения в обмотках определяется практически только активным сопротивлением, вследствие чего относительная величина падения напряжения в обмотках тороидального трансформатора значительно меньше, чем в трансформаторах стержневого и броневого типов. Поэтому для компенсации потерь на сопротивлении вторичной обмотки необходимо увеличить количество ее витков лишь на 3%, что составит

$$w_2 = 66 \times 1{,}03 = 68\,.$$

Определяем диаметры проводов обмоток. Диаметр провода первичной обмотки

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{I_1}{\Delta}}\ ,$$

где I_1 – ток первичной обмотки трансформатора, вычисленный по формуле

$$I_1 = 1{,}1\frac{P_Г}{U_1} = 1{,}1\frac{48}{220} = 0{,}24\ \text{А}\,,$$

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}24}{3{,}5}} = 0{,}299\text{ мм}.$$

Выбираем ближайший диаметр провода в сторону увеличения (0,31 мм). Диаметр провода вторичной обмотки

$$d_2 = 1{,}13\sqrt{\frac{I_2}{\Delta}} = 1{,}13\sqrt{\frac{3{,}6}{3{,}5}} = 1\text{ мм}.$$

Расчет тороидального трансформатора закончен. Теперь можно приступать к его изготовлению (см. раздел 5.2).

7.2. РАСЧЕТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Устройства, собранные на полупроводниковых приборах (транзисторы, тринисторы, микросхемы) и электромагнитных реле, питаются от источников постоянного напряжения. Как правило, отклонения напряжения от номинального значения не должны выходить за границы определенных допусков (например, для микросхем серии К155 питающее напряжение должно составлять 5 В±5%). Поэтому источник питания устройств, кроме трансформатора и выпрямителя, должен содержать еще и стабилизатор напряжения.

Основой стабилизатора напряжения чаще всего служит кремниевый стабилитрон, включенный в обратном направлении (катодом к положительному полюсу источника питания, анодом – к *отрицательному). При таком включении напряжение на ста*билитроне (напряжение стабилизации $U_{СТ}$) мало зависит от проходящего через него тока (тока стабилизации $I_{СТ}$). Эти две величины и являются основными параметрами стабилитронов. Так, для стабилитрона КС156А напряжение стабилизации (номинальное) составляет 5,6 В (при номинальном токе стабилизации 10 мА), а ток стабилизации может быть в пределах 3–50 мА. Если нагрузка потребляет больший ток, применяют усилитель тока. В простейшем случае это может быть транзистор, включенный по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель).

В настоящее время промышленность выпускает интегральные стабилизаторы с фиксированным напряжением, содержащие в одном корпусе регулирующий транзистор и узлы управления им (микросхемы серий К142, КР142).

В последнее время в связи с совершенствованием элементной базы все более широко применяются импульсные источники питания с бестрансформаторным входом. В них выполняется преобразование сетевой энергии во вторичную цепь на более высокой частоте. Частоты преобразования в пределах 20–150 кГц позволяют получить малогабаритные сетевые блоки питания с отличными удельными массогабаритными показателями.

7.2.1. Расчет выпрямителя

Поскольку в преобладающем большинстве конструкций блоков питания используется двухполупериодный выпрямитель, диоды которого включены по мостовой схеме (рис. 7.3), о выборе его элементов здесь и пойдет речь. Рассчитать выпрямитель – значит правильно выбрать выпрямительные диоды и конденсатор фильтра, а также определить необходимое переменное напряжение, снимаемое для выпрямления с вторичной обмотки сетевого трансформатора. Исходными данными для расчета выпрямителя служат требуемое напряжение на нагрузке $U_н$ и потребляемый ею максимальный ток $I_н$.

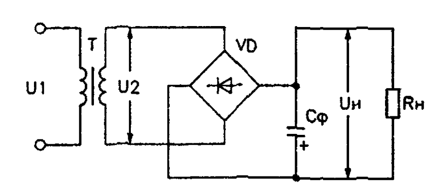


Рис. 7.3. Электрическая схема двухполупериодного выпрямителя

При проведении расчета сначала определяем переменное напряжение, которое должно быть на вторичной обмотке сетевого трансформатора:

$$U_2 = BU_H,$$

где B – коэффициент, зависящий от тока нагрузки (табл. 7.9). По току нагрузки определяем максимальный ток, текущий через каждый диод выпрямительного моста:

$$I_Д = 0{,}5CI_H,$$

где C – коэффициент, зависящий от тока нагрузки (табл. 7.9).

Таблица 7.9. Таблица определения коэффициентов B и C

Коэффициент	Ток нагрузки, А					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
B	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7
C	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8

Рассчитываем обратное напряжение, которое будет приложено к каждому диоду выпрямителя:

$$U_{ОБР} = 1{,}5U_{Н}.$$

Выбираем диоды, у которых значения выпрямленного тока и допустимого обратного напряжения равны или превышают расчетные. В заключение определяем емкость конденсатора фильтра:

$$C_{Ф} = \frac{3200 I_{Н}}{U_{Н} K_{П}},$$

где $C_{Ф}$ – емкость конденсатора фильтра, мкФ; $K_{П}$ – требуемый коэффициент пульсации выпрямленного напряжения (отношение амплитудного значения переменной составляющей частотой 100 Гц на выходе выпрямителя к среднему значению выпрямленного напряжения).

Для различных нагрузок коэффициент пульсаций не должен превышать определенного значения, иначе в динамической головке или громкоговорителе будет прослушиваться фон переменного тока. Например, для питания портативных приемников и магнитофонов допустим коэффициент пульсации выпрямленного напряжения в пределах 10^{-3}–10^{-2}, для усилителей ВЧ и ПЧ – 10^{-4}–10^{-3}, для предварительных каскадов усилителей НЧ и микрофонных усилителей – 10^{-5}–10^{-4}. Если выходное напряжение выпрямителя будет дополнительно стабилизироваться транзисторным стабилизатором напряжения, то расчетная емкость конденсатора фильтра может быть уменьшена в 5–10 раз.

7.2.2. Расчет стабилизатора

Для получения более постоянного напряжения на нагрузке при изменении потребляемого тока к выходу выпрямителя подключают стабилизатор, который может быть выполнен по схеме, приведенной на рис. 7.4. В этом устройстве работают стабилитрон VD1 и регулирующий транзистор VT1. Расчет позволит

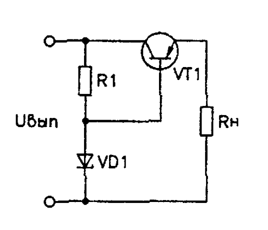


Рис. 7.4. Электрическая схема простого стабилизатора напряжения

выбрать все элементы стабилизатора, исходя из заданного выходного напряжения U_H и максимального тока нагрузки I_H. Однако оба эти параметра не должны превышать параметры уже рассчитанного выпрямителя. А если это условие нарушается, тогда сначала рассчитывают стабилизатор, а затем выпрямитель и трансформатор питания.

Определяем необходимое для работы стабилизатора входное напряжение $U_{ВЫП}$, поступающее с выпрямителя, при заданном выходном U_H:

$$U_{ВЫП} = U_H + 3\,.$$

Здесь цифра 3, характеризующая минимальное напряжение между коллектором и эмиттером транзистора, взята в расчете на использование как кремниевых, так и германиевых транзисторов. Если стабилизатор будет подключаться к готовому или уже рассчитанному выпрямителю, в дальнейших расчетах необходимо использовать реальное значение выпрямленного напряжения $U_{ВЫП}$. Далее рассчитываем максимально рассеиваемую транзистором мощность:

$$P_{МАКС} = 1{,}3(U_{ВЫП} - U_H)I_H\,.$$

Подбираем регулирующий транзистор. Его предельно допустимая рассеиваемая мощность должна быть больше значения $P_{МАКС}$; предельно допустимое напряжение между эмиттером и коллектором больше $U_{ВЫП}$; максимально допустимый ток коллектора больше I_H.

Определяем максимальный ток базы регулирующего транзистора:

$$I_{Б\,МАКС} = \frac{I_H}{h_{21Э\,МИН}},$$

где: $h_{21Э мин}$ – минимальный коэффициент передачи тока выбранного транзистора.

Подбираем подходящий стабилитрон. Его напряжение стабилизации должно быть равно выходному напряжению стабилизатора, а значение максимального тока стабилизации превышать максимальный ток базы $I_{Б макс}$. Рассчитываем сопротивление резистора R1:

$$R1 = \frac{(U_{ВЫП} - U_{СТ})}{(I_{Б МАКС} - I_{СТ МИН})},$$

где $R1$ – сопротивление резистора R1, кОм; $U_{СТ}$ – напряжение стабилизации стабилитрона, В; $I_{Б МАКС}$ – вычисленное значение максимального тока базы транзистора, мА; $I_{СТ МИН}$ – минимальный ток стабилизации для данного стабилитрона, указанный в справочнике (обычно 3–5 мА). Определяем мощность рассеяния резистора R1:

$$P_{R1} = \frac{(U_{ВЫП} - U_{СТ})^2}{R1}.$$

Может случиться, что маломощный стабилитрон не подойдет по максимальному то-ку стабилизации и придется выбирать стабилитрон значительно большей мощности. Такое происходит при больших токах потребления и использовании транзистора с малым коэффициентом $h_{21Э}$. В таком случае целесообразно ввести в стабилизатор дополнительный транзистор VT2 малой мощности (рис. 7.5), который позволит снизить максимальный ток нагрузки для стабилитрона (а значит, и ток стабилизации) примерно в $h_{21Э}$ раз и применить, соответственно, маломощный стабилитрон.

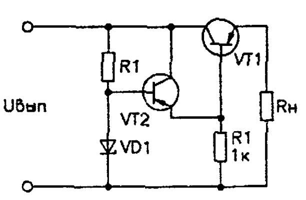


Рис. 7.5. Электрическая схема стабилизатора напряжения с дополнительным транзистором

В приведенных здесь расчетах отсутствует поправка на изменение сетевого напряжения, а также опущены некоторые другие уточнения, усложняющие расчеты. Проще испытать собранный стабилизатор в действии, изменяя его входное напряжение (или сетевое) на ±10% и точнее подобрать резистор R1 по наибольшей стабильности выходного напряжения при максимальном токе нагрузки.

ГЛАВА СТРАНИЦА

8 ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Аккумулятор – вторичный химический источник тока, состоящий из одного гальванического элемента.

Аккумуляторная батарея – вторичный химический источник тока, состоящий из двух и более аккумуляторов, соединенных между собой электрически для совместного производства электрической энергии.

Гальваническая связь – связь электрических цепей посредством электрического поля в проводящей среде.

Диэлектрик – вещество, основными электрическими свойствами которого являются способность не проводить электрический ток и поляризоваться в электрическом поле.

Конденсатор – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его емкости.

Коэффициент стабилизации напряжения – отношение относительного изменения входного напряжения электропитания к выходному напряжению.

Коэффициент трансформации – отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной или отношение напряжения на вторичной обмотке к напряжению на первичной обмотке в режиме холостого хода без учета падения напряжения на трансформаторе.

Напряжение питания – постоянное или переменное напряжение на входе аппаратуры, на которое она должна быть рассчитана.

Напряжение питания номинальное – условное значение напряжения, относительно которого устанавливают допускаемые отклонения.

Напряжение питания рабочее – напряжение, находящееся в рамках допускаемых отклонений от номинального напряжения, в которых обеспечивается работа прибора в заданных пределах.

Напряжение химического источника тока – разность потенциалов между выводами химического источника тока.

Напряжение химического источника тока начальное – напряжение химического источника тока в начале разряда, а при прерывистом разряде в начале первого периода разряда.

Напряжение химического источника тока номинальное – напряжение химического источника тока, указанное изготовителем и характеризующее данный химический источник тока.

Полупроводник – вещество, основным свойством которого является сильная зависимость его электропроводимости от воздействия внешних факторов (например, приложенного напряжения).

Резистор – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрического сопротивления.

Стабилизатор напряжения – функциональный узел электропитания устройства, осуществляющий стабилизацию выходного напряжения без изменения рода напряжения (тока).

Стабилизатор напряжения компенсационный – стабилизатор напряжения, в котором стабилизация осуществляется за счет воздействия изменения выходного напряжения на его регулирующее устройство через цепь обратной связи.

Стабилизатор напряжения параметрический – стабилизатор напряжения, в котором отсутствует цепь обратной связи и стабилизация осуществляется за счет использования нелинейных элементов, входящих в его состав.

Функциональный узел – устройство, входящее в состав схемы и выполняющее одну или несколько задач, обеспечивающих четкую работу всей системы.

Химический источник тока – устройство, в котором химическая реакция заложенных в нем веществ непосредственно преобразуется в электрическую энергию при протекании электрохимических реакций.

Электрическая схема – графическое изображение электрической цепи, содержащее условное обозначение электрорадиоэлементов и показывающее их соединения.

Электрическая цепь – совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий о электродвижущей силе, токе и напряжении.

Электрическое соединение – соединение участков электрической цепи, при помощи которого образуется электрическая цепь.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Как работникам ремонтных мастерских, так и радиолюбителям часто приходится пользоваться различными химическими веществами. Чтобы применять их по назначению, соблюдая необходимые меры безопасности, полезно знать их свойства и некоторые характеристики.

Кислоты

Азотная кислота – бесцветная или с желтоватым оттенком жидкость. Обычно выпускается в 49- и 60-процентных растворах.

Серная кислота (купоросное масло) – тяжелая едкая жидкость, бесцветная или с желтоватым оттенком. Является одной из самых активных кислот.

Соляная кислота – бесцветная или светло-желтая жидкость. Легко смешивается с водой. Относится к активным кислотам, растворяет металлы (железо, цинк, медь и т.д.).

Уксусная кислота – бесцветная или желтоватая жидкость. Относится к классу органических кислот. Выпускается в разной концентрации: 80% – уксусная эссенция (ледяная); 30% – техническая эссенция; 8% – уксус.

«Царская водка» является смесью кислот в определенной пропорции (например, 100 г азотной кислоты, смешанной со 100 г соляной кислоты). Применяется при травлении меди, латуни, железа, стали, цинка и т.д. Этот раствор действует на металлы почти мгновенно; коррозия и грязь при этом исчезают, и поверхность металла становится блестящей или матовой.

Внимание! *При работе с активными кислотами необходимо строго соблюдать правила безопасности. Следует помнить, что, разбавляя кислоту водой, нужно вливать кислоту в воду, а не наоборот. В противном случае происходит разбрызгивание кислоты, что может привести к тяжелым ожогам.*

Щелочи

Гидрооксид натрия (едкий натр, каустик, каустическая сода) – сплавленная твердая масса белого или желтого цвета. Является

сильной щелочью, легко поглощает влагу из воздуха, поэтому поступает в продажу в герметически закрытых железных сосудах. Хорошо растворяется в воде, выделяя при этом тепло. Сильно раздражает кожу и вызывает ожоги. Работая с этой щелочью, следует соблюдать меры предосторожности – надевать резиновые перчатки и предохранительные очки.

Гидрооксид калия (едкое кали) – белое кристаллическое вещество. Выпускается в сухом виде или растворе (хранится в железной посуде). Относится к сильным щелочам.

Нашатырный спирт (водный аммиак) – раствор аммиака (газа) в воде. Бесцветная жидкость с острым запахом. Концентрация – 10% и 25%. Относится к слабым щелочам.

Внимание! *При работе с кислотами и щелочами рекомендуется пользоваться защитными очками. При химических ожогах кожи пораженное место нужно промыть интенсивной струей проточной воды и нейтрализовать действие опасного вещества: кислоту – 3-процентным раствором питьевой соды; щелочь – 1-процентным раствором уксусной кислоты.*

Соли

Сода кальцинированная (карбонат натрия безводный, углекислый натрий) – белый безводный порошок, содержащий около 2% примесей, в основном поваренной соли.

Поташ (карбонат калия, углекислый калий) – представляет собой белое порошкообразное вещество, легкорастворимое в воде и по свойствам сходное с содой. Во влажном воздухе поташ расплывается, поэтому его хранят в плотно закрытых банках.

Жидкое стекло (водный раствор силиката натрия) – тяжелая жидкость серого цвета. Это растворенный в воде твердый силикат натрия, который представляет собой сплав кремнезема (песка) и соды или сульфата натрия (глауберовой соли). Жидкое стекло применяется в быту в виде конторского клея, а также как составная часть различных замазок, красок, порошков и т.д. Выпускается также жидкое калийное стекло (водный

раствор силиката калия). Оно используется в качестве клеящего, вяжущего и пропитывающего средства.

Бура (тетраборат натрия, тетраборнокислый натрий) – представляет собой порошок или кристаллы белого цвета. Выпускается в двух видах – бура техническая и медицинская. Получается из четырехборной кислоты и соды. Применяется при пайке и сварке металлов, а также в быту и промышленном производстве – в стекольной промышленности, в кожевенном производстве и т.д. Бура ядовита.

Нашатырь (хлористый аммоний) – кристаллический порошок белого цвета, легкорастворимый в воде. При нагревании не расплавляется, а сразу превращается в газ. Применяется при плавке металлов, при нанесении на металлы различных покрытий – лужении, оцинковке и т.д.

Купорос медный (сульфат меди, сернокислая медь) – кристаллы синего цвета. Применяется при изготовлении минеральных красок, в малярных работах, при нанесении медных покрытий на другие металлы и т.д.

Растворители

Бензин – бесцветная прозрачная жидкость, представляющая собой продукт переработки нефти. Обладает характерным запахом. Легко воспламеняется; пары бензина взрывоопасны, что следует иметь в виду при его хранении. Используется для обезжиривания различных поверхностей.

Ацетон – бесцветная легколетучая жидкость с сильным запахом. Хорошо растворяет многие органические вещества – смолы, нитролаки и т.д. Легко воспламеняется.

Этиловый (винный) спирт – легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость. Хорошо растворяет некоторые лаки и смолы. В ремонтной и радиолюбительской практике используется для промывки контактов и удаления остатков флюсов.

Другие вещества

Канифоль – хрупкое стекловидное вещество желтого или светло-желтого цвета. Легко растворяется в спирте, эфире, ацетоне; плохо растворяется в бензине; не растворяется в воде. Применяется в качестве флюса при пайке проводов, для изготовления различных лаков и т.д.

Парафин – твердое прозрачное или молочно-белое воскообразное вещество, представляющее собой смесь твердых углеводов. Добывается из нефти. При нагреве легко плавится. Широко применяется для заливки различных деталей, в том числе катушек и трансформаторов, с целью повышения их влагостойкости. Нужно иметь в виду, что использовать для этой цели можно лишь парафин, в котором отсутствуют примеси кислот (определить примеси можно по покраснению лакмусовой бумажки, опущенной в расплавленный парафин). Можно очистить парафин, прокипятив его в воде. Воду при этом несколько раз меняют. Нерастворимые в воде примеси осядут на дно, а растворившиеся кислоты удалятся вместе с водой.

Пропитку трансформаторов, дросселей и других деталей для защиты от влаги можно производить, опустив деталь в горячий раствор, составленный из 30 частей чистого воска, 15 весовых частей очищенного от кислот парафина и 55 весовых частей зубного порошка. В состав можно добавить также анилиновый краситель любого цвета.

Несовместимость химических веществ

Когда говорят *о несовместимости* химических веществ, имеют в виду ту нежелательную реакцию, которая возникает при случайном смешивании, а иногда и хранении на достаточно близком расстоянии. Если реакция сопровождается выделением большого количества тепла, то может произойти взрыв или самовозгорание. В других случаях взаимодействие веществ приводит к потере их первоначальных свойств, и, как следствие, невозможности использования по назначению. Ниже указаны некоторые несовместимые вещества.

Азотная кислота несовместима с глицерином, спиртом, эфирными маслами, смолами, сахаром, фенолом, опилками, ватой.

Аммиак (нашатырный спирт) и *нашатырь* несовместимы с формалином (формальдегидом) и йодом.

Бура несовместима с кварцами, нашатырем, серной кислотой, соляной кислотой.

Кислоты несовместимы с мылом, щелочами, содой, поташом, известью и др.

Серная кислота (купоросное масло) несовместима со скипидаром, спиртом и бензином.

Спирт несовместим с хромовой кислотой, перманганатом калия, клеем, желатином, казеином.

Изоляционные материалы

При обслуживании и ремонте электрооборудования применяются изоляционные материалы, чаще всего изоляционная лента. Познакомимся с некоторыми из них.

Лента изоляционная поливинилхлоридная липкая (ПВХ). Изготавливается на основе светотермостойкого изоляционного пластиката, на одну сторону которого нанесен липкий состав. Выпускается лента в роликах диаметром 100 мм и длиной 4 м в основном светло-синего цвета, но бывает и других цветов. До недавнего времени она являлась основной изоляционной лентой.

Лента электроизоляционная термостойкая самослипающаяся резиновая (ЛЭТСАР) выпускается в роликах диаметром 150 мм и длиной 4,5 м двух марок и двух сечений; марки различаются цветом и термостойкостью. Марка К – красного цвета, марка Б – белого цвета. Между слоями ленты в ролике проложена полиэтиленовая лента марки НТ для предотвращения самослипания слоев. Лента имеет хорошую электрическую прочность, тепло-, влаго- и водостойка, устойчива к действию озона и ультрафиолетовых лучей, масел и химических реактивов. Лента способна слипаться в монолит без предварительного подогрева.

Лента электроизоляционная прорезиненная липкая представляет собой хлопчатобумажную ткань, на поверхность которой нанесена липкая резиновая смесь. Обычно черного цвета.

Лакоткань хлопчатобумажная (ЛХМ-105) пропитана масляным лаком для длительной работы при температуре 105 °С. Выпускается в роликах диаметром 40 мм и длиной 1 м. Сведения о некоторых лентах приведены в табл. П2.1.

Лента хлопчатобумажная изготавливается для электропромышленности из хлопчатобумажной пряжи или полиэфирных нитей. Для электромонтажных работ применяется в основном киперная лента из хлопчатобумажной пряжи с обозначением К.

Полихлорвиниловые трубки (например, ХВТ-5) могут заменять изоляционную ленту для защиты отдельных проводов или жгутов проводов при их вводе в корпуса аппаратов, двигателей,

Таблица П2.1. Характеристики изоляционных лент

Лента	Толщина, мм	Ширина, мм	Электрическая прочность при 50 Гц, кВ/мм	Температура при эксплуатации в статическом состоянии, °С	Горючесть
ПВХ	0,2	15; 20; 30; 40	13	−50...+50	Самозатухает
	0,3	20; 30; 50			
	0,4	30			
ЛЭТСАР	0,1; 0,2	26; 29; 38; 48	20	−50...+250	Горит
ЛХМ-105	0,15; 0,17; 0,2	25; 30	7,5	−40...+105	Горит

в металлические трубы. Цифра, стоящая после буквенного индекса означает внутренний диаметр трубки в миллиметрах. Их еще называют «кембрики».

Термоусадочные трубки используются также, как и трубки ПХВ. Их отличительной особенностью является то, что при нагревании (например, в пламени зажигалки) они способны сжиматься и плотно изолировать соединение.

Аэрозоли, применяемые в электронике

Препараты для обработки контактов. Позволяют решить одну из наиболее актуальных проблем при создании электронных устройств – защитить от коррозии и загрязнения контакты переключателей, разъемы. панели микросхем, держатели предохранителей и т.д. Высокое качество очистки контактов обеспечивается при последовательном применении трех препаратов – KONTAKT 60, KONTAKT WL, KONTAKT 61. Первый из них растворяет и разлагает оксиды на поверхности контакта, второй вымывает остатки оксидов и грязи, а третий формирует на очищенной поверхности защитную пленку, которая предохраняет ее от коррозии и обеспечивает исправную работу контакта в течение длительного периода.

Контакты с покрытием из золота, серебра, олова, родия и палладия полезно обрабатывать препаратом KONTAKT GOLD 2000, который создает защитную пленку и заметно уменьшает их износ.

Все перечисленные препараты не проводят электрический ток и химически нейтральны к большинству диэлектриков, используемых в электронных устройствах.

Чистящие препараты. KONTAKT IPA – универсальное чистящее средство, применяемое для чистки магнитных головок, резиновых роликов, оптики и зеркал. Оно удаляет из точных механизмов смазку, содержащую смолы, и пастообразную грязь. А для чистки сильно загрязненных устройств, эксплуатирующихся в тяжелых условиях (высоковольтные выключатели, изоляторы антенн, электродвигатели и т.п.), лучше использовать специальное обезжиривающее средство DEGREASER 65.

Привести в порядок поверхность экранов дисплеев и телевизоров, а также различной оптической аппаратуры (например, ксероксов) можно с помощью препарата SCREEN 99. Он пригоден и для чистки металлических, керамических и пластмассовых поверхностей, но для этого (в частности, для очистки пористых поверхностей в компьютерном и копировальном оборудовании) выпускают специальный препарат SURFACE 95. Он поможет там, где не справляются другие чистящие средства.

Хорошо известно, что обычными средствами очень трудно удалить следы клея на поверхности изделия после снятия наклейки. А препарат LABEL OFF 50 без труда справляется с этой задачей, поскольку растворяет большинство клеев, в том числе и те, которые применяются на самоклеющихся этикетках. Он весьма эффективно удаляет пятна красок, смол и клеев (в том числе и с рук).

Среди *смазывающих средств* следует особо выделить препарат LUB OIL 88, который не содержит силиконов и не образует смол. Эта бескислотная композиция особенно подходит для смазки приводов аудио- и видеомагнитофонов и точных механизмов оргтехники.

Для сухой смазки движущихся поступательно и вращающихся поверхностей выпускают препараты KONTAFLON 85 и VASELIN 701. Первый из них представляет собой аэрозольную суспензию на основе мелкозернистого фторопластового порошка и пригоден для электронной и телекоммуникационной аппаратуры, работающей в широких температурных пределах (от –50 до +260 °С). VASELIN 701 изготовлен на основе белого бескислотного вазелина и хорошо зарекомендовал себя в обслуживании телекоммуникационной техники и антенного хозяйства.

Средства для создания токопроводящих и защитных покрытий. Современную аппаратуру, как правило, изготавливают в пластмассовых корпусах. При всех достоинствах они не имеют экранирующих свойств и способны накапливать на поверхностях заряды статического электричества. Устранить эти недостатки можно с помощью препарата EMI 35, который содержит медный порошок. Препарат наносят на внутренние поверхности корпуса, и через 30 мин покрытие превращается в тонкий проводящий слой со стабильными характеристиками.

Сухое электропроводящее покрытие для снятия статического электричества обеспечивает и препарат GRAPHIT 33, изготавливаемый на основе коллоидного графита и обладающий высокими адгезивными свойствами к любым конструкционным материалам.

А вот препарат ZINK 62, состоящий на 95% из чистого цинка и тоже создающий электропроводящий слой, позволяет решить иную задачу – обеспечить антикоррозионное гальваническое покрытие любых металлов. Его применяют для защиты самого разнообразного оборудования, в частности и устройств автомобилей.

Для снятия статического напряжения предназначен препарат ANTISTATIK 100, пригодный, кстати, для обработки тканей. А любителям послушать грампластинки он просто необходим, поскольку в значительной степени устраняет щелчки, возникающие из-за статического электричества.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Радиоэлектронные приборы, работающие автономно, имеют встроенный источник питания того или иного типа. Рассмотрим некоторые химические источники тока (ХИТ).

Для питания бытовой и радиолюбительской аппаратуры чаще других используют марганцево-цинковые элементы и батареи с различными электролитами (солевым, хлоридным или щелочным) или воздушной деполяризацией. Широкое распространение получили также ртутно-цинковые, серебряно-цинковые и литиевые ХИТ.

Конструктивно ХИТ обычно имеет форму цилиндра (цилиндр малой высоты называют «таблеткой» или «пуговицей»).

По рекомендации МЭК такие ХИТ имеют в обозначении:

- букву, определяющую электрохимическую систему (L – алкалиновая, S – серебряно-цинковая, M *или* N – ртутно-цинковая и др.);
- букву R (от английского *Ring* – круг), говорящую о форме элемента;
- число от 1 до 600, условно определяющее размеры элемента.

Применяя ХИТ той или иной системы, следует, конечно, знать ее возможности, особенности эксплуатации и т.п.

Марганцево-цинковые элементы и батареи. Электрохимическая система: цинк – двуокись марганца – электрод. Это прежде всего хорошо известные угольно-цинковые элементы и батареи Лекланше с солевым электролитом (водным раствором хлорида аммония и хлорида цинка). Они могут эксплуатироваться при температурах от –5 до +50 °С. Имеют заметный саморазряд и недостаточно хорошую герметичность, дешевы.

Другой тип – угольно-цинковые ХИТ с водным раствором хлорида цинка. Энергетические показатели этих источников примерно в 1,5 раза выше, чем у элементов и батарей предыдущей группы. Могут эксплуатироваться при температурах от –15 до +70 °С. Имеют, меньший саморазряд и лучшую герметичность. Допускают больший разрядный ток.

Алкалиновые элементы и батареи. Электрохимическая система аналогична электрохимической системе марганцево-цинковых элементов, но в качестве электролита здесь используется щелочь в виде водного раствора гидрооксида калия. Алкалиновый элемент можно перезаряжать до 10–15 раз, но его повторная отдача не превысит 35% начальной. Для перезарядки годятся элементы, сохранившие герметичность и имеющие напряжение не менее 1,1 В. Алкалиновые ХИТ могут эксплуатироваться при температурах от –25 до +55 °С. Допускают значительные разрядные токи.

Элементы и батареи с воздушной деполяризацией. Электрохимическая система: цинк – воздух – гидрооксид марганца. Гидрооксид марганца $MnOOH$ окисляется кислородом воздуха до MnO_2. Для подвода и удержания O_2 используют специальные конструкции и материалы катода (элемент активизируется лишь после извлечения пробки, открывающей доступ воздуху).

ХИТ с воздушной деполяризацией могут работать при температурах от –15 до +50 °С. Они обладают высокими энергетическими показателями. Могут быть рекомендованы при значительных импульсных нагрузках.

Ртутно-цинковые элементы и батареи. Электрохимическая система: цинк – оксид ртути – гидрооксид натрия. Источники тока имеют высокие энергетические показатели. Работоспособны лишь при положительных температурах (от 0 до +50 °С). При малых токах разряда и стабильной температуре напряжение на элементе остается почти неизменным. Практически не имеют газовыделения. Из-за наличия ртути экологически вредны и к применению не рекомендуются.

Серебряно-цинковые элементы и батареи. Электрохимическая система: цинк – одновалентное серебро – гидрооксид калия или натрия. Источники обладают малым саморазрядом, имеют хорошие энергетические характеристики и почти неизменное напряжение в процессе работы (при неизменной температуре). Температурный диапазон от 0 до +55 °С.

Литиевые элементы и батареи с органическим электролитом. Сюда входят более десяти электрохимических систем. Напряжение на элемент от 1,5 до 3,6 В. Энергетические и габаритно-весовые показатели выше, чем у ртутно- и серебряно-цинковых элементов: по массе – в 3 раза, по объему – в 1,5–2 раза. Литиевые источники обладают исключительно малым саморазрядом (сохраняют более 85% емкости после 10 лет хранения). Они герметичны и имеют довольно стабильное напряжение. В микромощных устройствах, где важна надежность контактов, используют литиевые источники с выводами под пайку.

В табл. П3.1–П3.5 приведены данные элементов и батарей по международным (МЭК) и государственным (ГОСТ, ТУ) стандартам.

При использовании элементов питания мы часто сталкиваемся с тем, что с виду одинаковые элементы имеют различные обозначения. В связи с этим выбор аналога нужного элемента иногда вызывает определенные трудности. В табл. П3.6 и П3.7 приведены данные о соответствии обозначений дисковых серебряно-цинковых и ртутно-цинковых элементов в различных стандартах.

Таблица П3.1. Характеристики алкалиновых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (∅×*h* или *L*×*B*×*H*), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
LR1	293	12×30,2	9,5	1,5	650
LR03	286	10,5×44,5	13	1,5	800
LR6	LR6;А316; ВА316; 316-ВЦ; «Сапфир»	14,5×50.5	25	1.5	1000–3700
LR10	А332; ВА332	20,5×37	26	1,5	1300–2800
LR14	LR14; А343; ВА343	26,2×50	65	1,5	3000–8200
LR20	LR20; А373; ВА373	34,1×61,5	125	1.5	5500–16000
Батареи					
6LF22	«Корунд», «Крона»	26,5×17,5×48,5	46	9	620

Таблица П3.2. Характеристики серебряно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (∅×*h*), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
SR41	СЦ-21; СЦ-0,038	7,9×3,6	0,7	1,5–1,55	38–45
SR42	СЦ-0,08	11.6×3,6	1,6	1,5–1,55	80–100
SR43	СЦ-32; СЦ-0,12	11,6×4,2	1,8	1,5–1,55	110–120
SR44	СЦ-0,18	11,6×5.4	2,3	1,5–1,55	130–190
	СЦ-30	11,6×2,6	1,5	1,5–1,55	60
Батареи					
4SR44		13×25,2	14,2	6	170

Таблица П3.3. Характеристики элементов питания Лекланше

Обозначение по стандарту		Габариты (∅×*h* или *L*×*B*×*H*), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
R1	R1; 293	12×30,2	7,5	1,5	150
R03	R03; 286	10,5×44,5	8,5	1,5	180
R6	R6; 316; «Уран-М»	14,5×50,5	19	1,5	450–850
R10	R10; 332	21,8×37,3	30	1,5	280
R12	R12; 336	21,5×60	48	1,5	730

Таблица П3.3. Характеристики элементов питания Лекланше (окончание)

Обозначение по стандарту		Габариты (Ø×h или L×B×H), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
R14	R14; 343; «Юпитер-М»	26,2×50	46	1,5	1530–1760
R20	R20; 373; «Орион-М»	31,4×61,5	95	1,5	4000
R40	R40; AR40	67×172	600	1,5	39000–46000
Батареи					
2R10	2R10	21,8×4,6	58	3	280
3R12	3R12;3336; «Планета»	62×22×67	125	4,5	1500
4R25	4R25	67×67×102	650	6	4000
6F22	6F22; «Крона»	26,5×17,5×48,5	30	9	190–250
6F100	6F100	66×52×81	460	9	3600

Таблица П3.4. Характеристики ртутно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту		Габариты (Ø×h), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
МЭК	ГОСТ, ТУ				
Элементы					
MR6	MR6	10,5×44,5	25	1,35	1700
MR9	РЦ53	16×6,2	4,2–4,6	1,35	250–360
MR19	РЦ85	30,8×17	43	1,35	3000
MR42	РЦ31	11,6×3,6	1,4–1,6	1,35	110
MR52	РЦ55	16,4×11,4	8–9	1,35	450–500
	РЦ63	21×7,4	11	1,34	700
	РЦ65	21×13	18,1	1,34	1500
	РЦ73	25,5×8,4	17,2	1,34	1200
	РЦ75	25,5×13,5	27,3	1,34	2200
	РЦ82	30,1×9,4	30	1,34	2000
	РЦ83	30,1×9,4	28,2	1,34	2000
	РЦ93	31×60	170	1,34	13000
Батареи					
3MR9	3РЦ53	17×21,5	15	4,05	250–360
4MR9	4РЦ53	17×27	20	5,4	360
2MR52	2РЦ55с	17×23	19	2,7	450
3MR52	3РЦ55с	17×35	28	4,05	450
	4РЦ55с	16,2×53	40	5,4	450
	5РЦ55с	16,2×66	50	6,7	450
	6РЦ63	23×48	72	7,2	600

Таблица П3.5. Характеристики литиевых элементов питания

Шифр типоразмера	Габариты (∅×*h*), мм	Масса, г	Напряжение, В	Емкость, мА·ч
333	3,8×33	1,1	3	40
426	4,2×25,9	0,55	3	20
436	4,2×35,9	0,85	3	40
721	7,9×2,1	0,45	1,5	18
772	7,9×7,2	1	3	30
921	9,5×2,1	0,55	1.5	35
926	9,5×2,6	0,7	1,5	45
1121	11,6×2,1	0,85	1,5	50
1136	11,6×3,6	1,25	1.5	100
1154	11,6×5,4	1,85	1,5	170
1154	11,6×5,4	1,7	3	130
1220	12,5×2	0,8	3	30
1225	12,5×2.5	0,9	3	36
1616	16×1,6	1	3	30
1620	16×2	1,2	3	50
2010	20×1	1,1	3	20
2016	20×1,6	1,7	3	50–65
2020	20×2	2,3	3	90
2025	20×2,5	2,5	3	120(100)
2032	20×3,2	3	3	170(130)
2191	21×9,1	11	3,5	400
2192	21×9,2	8,9	3	800
2312	23×1,6	2,3	3	90
2320	23×2	3	3	80–110
2325	23×2,5	3,7	3	140–160
2420	24,5×2	3,2	3	120(100)
2430	24,5×3	4	3	200(160)
2432	24,5×3,2	4,2	3	180
2525	25×2,5	4	3	200
2779	27,3×7,9	13	3	1200
3506	35,5×6	19,5	3	1700
11100	11,6×10,8	3,3	3	160
12600	12×60,2	16	3	1000
13250	13×25,2	9	6	160
14250	14,1×24,5	7,3	1,5	1600
14250	14,5×25	10	3	1000
14500	14,1×49,5	17,4	1,5	3900
17230	17×23	9,5	3	750
17340	17×33,5	13,5	3	1200
26180	26,2×18,2	25	3,5	1000
26500	26×50	47	3	5000
34610	32×60,5	110	1,5	16000

Таблица П3.6. Соответствие обозначений серебряно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту МЭК	Обозначение в Японии и странах Юго-Восточной Азии	Обозначение в США и странах Европы
SR41	G3, SR41SW/W	384, 392*
SR42	–	344, 350*
SR43	G12, SR43SW/W	301, 386*
SR44	G13, SR44SW/W	303, 357*
SR45	G9, SR936SW	394
SR47	G14, SR1156SW/W	–
SR48	G5, SR754W	309, 393*
SR54	G10, SR1130SW/W	390, 389*
SR55	G8, SR1120SW/W	381, 391*
SR56	–	–
SR57	G7, SR927SW/W	395, 399*
SR58	G11, SR721SW/W	362, 361*
SR59	G2, SR726SW/W	397, 396*
SR60	G1, SR621SW/W	364
SR62	SR516SW/W	317
SR63	SR521SW/W	379
SR64	SR527SW	319
SR65	G1X, SR616SW	321
SR66	G4, SR626SW/W	377
SR67	SR716SW	315
SR68	SR916SW/W	373
SR69	G6, 920SW/W	371, 370*
–	SR416SW	337
–	SR421SW	348
–	SR512SW	335
–	SR712SW/W	346
–	SR1116SW	366

Примечание к табл. Элементы, обозначенные звездочкой (*), а также имеющие в конце обозначения букву W после косой черты (/W), имеют существенно меньшее внутреннее сопротивление по отношению к другим аналогам и предназначены для использования в часах с подсветкой и будильником.

О некоторых особенностях элементов и батарей зарубежного производства, преимущественном их назначении можно судить по сделанным на них надписям:

- Alkaline – элемент (батарея) со щелочным электролитом;
- Camera – для фотокиноаппаратуры;
- Cigarette Lighter – для карманной зажигалки;
- Communication Device – для средств связи;
- Fishing Float – для поплавка;

- Game – для электронной игрушки;
- Hearing Aid – для слухового аппарата;
- Lighter – к зажигалке;
- Lithium – литиевый элемент (батарея);
- Marganese-Zinc – марганец-цинковый элемент (батарея);
- Measuring Equipment – для измерительных приборов;
- Medical Instrument – для медицинских приборов;
- Mercuric Oxide – ртутно-цинковый элемент (батарея);
- Microphone – для микрофона;
- Mini Radios – для миниатюрного радиоприемника;
- Nickel-Zinc – никель-цинковый элемент (батарея);
- Photographic Light Meter – для фотоэкспонометра;
- Pocket Bell – для карманного будильника;
- Silver Oxide – серебряно-цинковый элемент (батарея);
- Standart – универсальный элемент (батарея);
- Watch – для часов;
- Wristwatch – для наручных часов.

Таблица П3.7. Соответствие обозначений ртутно-цинковых элементов питания

Обозначение по стандарту МЭК	Обозначение в Японии и странах Юго-Восточной Азии	Обозначение в США и странах Европы
MR1	H-Ra	–
MR9	H-D	625PX
MR41	H-A	312HM
MR42	H-B	400PX
MR43	–	–
MR44	H-C	675PX
MR48	HS-5	13HM
MR50	H-P	1PX
MR52	H-N	640PX
MR53	–	–
MR54	–	–

Режимы зарядки аккумуляторов

Проблемы зарядки никель-кадмиевых аккумуляторов по-прежнему актуальны. Какое зарядное устройство лучше? Как определить момент окончания зарядки? Какой режим зарядки предпочтительнее? Ответы на эти и другие вопросы изложены ниже.

Зарядное устройство обязано прежде всего передать аккумулятору соответствующий электрический заряд. Но это требование

дополняется обычно пожеланиями обеспечить быстроту зарядки аккумулятора, сохранить на протяжении длительного времени его номинальную емкость, сделать зарядку безопасной и др.

В зарядных устройствах любого типа важнейшим является определение момента окончания зарядки аккумулятора. Это делается несколькими способами.

Первый способ. При зарядке аккумулятора постоянным, не изменяющимся в процессе зарядки током ее прекращают вручную по истечении определенного времени. На такой режим ориентированы многие наиболее дешевые зарядные устройства. Зарядный ток в них составляет обычно $I = 0{,}1E$, где I – зарядный ток в амперах, а E – емкость аккумулятора в амперчасах. В этом режиме емкостный КПД аккумулятора принимают равным 2/3 и, соответственно, длительность зарядки устанавливают равной 15 часам. Режим зарядки малым током (он может быть и меньше $0{,}1E$ при соответствующем увеличении продолжительности зарядки) замечателен тем, что даже при значительной перезарядке аккумулятор не будет поврежден, во всяком случае – не взорвется.

Второй способ. Аккумулятор заряжают постоянным током, многократно превышающим $0{,}1E$ (в 10–20 раз). Зарядка прекращается автоматически по истечении заданного, более короткого времени. В режиме такой интенсивной зарядки обязательно должно соблюдаться следующее. Во-первых, аккумулятор необходимо предварительно разрядить (обычно – до 1 В на банку); во-вторых, должна быть обеспечена строгая зависимость продолжительности зарядки от установленного значения зарядного тока и, в третьих, обеспечено аварийное его отключение (например, по перегреву корпуса). К этой категории относятся многие зарядные устройства, появившиеся на нашем рынке, но, к сожалению, далеко не все они обеспечивают должную безопасность.

Третий способ. Ток зарядки не обязательно должен быть постоянным. Зарядку аккумулятора прекращают при увеличении его температуры. Этот способ имеет серьезные недостатки (аккумулятор почти всегда перезаряжается, ненадежен тепловой контакт и др.) и используется, как правило, лишь для аварийного отключения аккумулятора.

Четвертый способ. Ток зарядки фиксированный, как правило, многократно, превышающий $0{,}1E$. По достижении на

аккумуляторе заданного напряжения зарядка заканчивается автоматически. Этот принцип долгое время использовался в самых лучших зарядных устройствах, практически вытеснив систему зарядки аккумулятора малым током.

Установка порогового напряжения здесь весьма критична. Обычно его значение выбирают в пределах 1,45–1,55 В на аккумуляторную банку, чаще – 1,48 В. Пороговое напряжение также зависит от температуры окружающей среды и «возраста» аккумулятора.

Неизменный ток зарядки здесь, вообще говоря, не обязателен. Но это упрощает учет потерь на подводящих проводах. Если же этого не делать, то на аккумуляторе будет установлено заниженное пороговое напряжение, что обернется недобором заряда, а установленное лишь на один милливольт выше реального, приведет к тому, что процесс зарядки аккумулятора никогда не кончится. Вернее, кончится тем, что аккумулятор либо перегреется при малом зарядном токе, либо взорвется при большом. Во избежание этого некоторые зарядные устройства по достижении напряжения чуть меньше порогового переходят на дозарядку аккумулятора безопасным током, которым ее и завершают или переходят в режим «капельного» заряда, то есть поддержания напряжения аккумулятора на определенном значении. Контроль уровня заряда осуществляется по изменению напряжения на клеммах аккумулятора (так называемый ΔV-метод).

Пятый способ. Процесс зарядки контролируют по скорости увеличения напряжения на аккумуляторе: оно быстро увеличивается непосредственно перед ее завершением. Отследив этот момент, зарядное устройство уменьшает большой ток зарядки (он доходит в них до $2E$) до малого, безопасного, которым зарядка и завершается. По причинам, изложенным в п.4, оба эти тока также лучше иметь фиксированными, не изменяющимися во времени.

Шестой способ. Как и в предыдущем случае, при зарядке постоянным током состояние аккумулятора определяют по скачку напряжения. Для получения хороших характеристик зарядку ведут током не менее $2E$. В таких зарядных устройствах обычно используют аналого-цифровые преобразователи, которые позволяют заметить 1-процентный скачок напряжения и

вовремя прекратить зарядку. Таким зарядным устройствам не нужны регулировки, связанные с изменением числа заряжаемых аккумуляторов. В качестве защитной меры в них контролируется продолжительность зарядки.

Однако ни один из рассмотренных выше способов зарядки сам по себе не является оптимальным. Поэтому нередко они сочетаются.

По установившейся терминологии зарядка аккумулятора может быть очень быстрой (до 15 мин), быстрой (до 1 ч), ускоренной (до 3–4 ч), нормальной (от 12 до 16 ч) и медленной. Реальная емкость аккумулятора зависит от температуры и значений тока зарядки и разрядки. Наибольшая измеренная емкость получается при зарядке аккумулятора большим током и разрядке малым.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
ПРОВОДА

Проводники

Основные электрические параметры проводников – удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент сопротивления. *Удельное электрическое сопротивление* – сопротивление провода длиной 1 м с постоянным по длине поперечным сечением 1 мм². *Температурный коэффициент сопротивления* (ТКС) – относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1 °С. ТКС зависит от температуры.

Сопротивление провода определяется по формуле

$$R = \rho l / S \text{ и } R = 1{,}27 \rho l / d^2 ,$$

где R – сопротивление, Ом; ρ – удельное сопротивление, Ом·мм²/м; l – длина провода, м; S – поперечное сечение провода, мм²; d – диаметр провода, мм. Сопротивление провода зависит от температуры:

$$R_{\cdot} = R_{20}\left[1 + \alpha(T - 20)/100\right],$$

где R_T – сопротивление при заданной температуре; R_{20} – сопротивление при 20 °С; α – ТКС, % / °С; T – заданная температура, °С.

Основные параметры некоторых проводников низкого сопротивления приведены в табл. П4.1, а высокого сопротивления – в табл. П4.2.

Таблица П4.1. Основные параметры проводников низкого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм²/м	ТКС, %/°С	Температура плавления, °С	Плотность, г/см³
Алюминий	0,028	0,49	660	2,7
Бронза	0,115	0,4	900	8,8
Золото	0,024	0,37	1060	19,3
Латунь	0,03–0,06	0,2	900	8,5
Медь	0,0175	0,4	1080	8,9
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Серебро	0,016	0,38	960	10,5
Сталь	0,098	0,62	1520	7,8
Уголь	0,33–1,85	0,06	–	–
Хром	0,027	–	–	6,6
Цинк	0,059	0,35	420	7,0

Таблица П4.2. Основные параметры проводников высокого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм²/м	ТКС (в интервале 0–100°С), %/°С	Максимальная рабочая температура, °С	Температура плавления, °С	Плотность, г/см³
Константан	0,44–0,52	0,0005	500	1270	8,9
Манганин	0,4–0,5	0,005	100	1200	8,4
Нейзильбер	0,28–0,35	0,03	150	1000	8,4
Никелин	0,39–0,45	0,002	150	–	–
Нихром	1,0–1,1	0,015	900	1400	8,2
Реотан	0,45–0,52	0,04	150	–	–
Фехраль	1,1–1,3	0,01	900	1460	7,2
Хромаль	1,45	0,005	1000	1500	7,1

Выбор соединнтельных и сетевых проводов

Надежная работа проводов зависит от их правильного выбора по условиям внешней среды и току нагрузки. Они предназначены для определенных способов прокладки, которые следует

учитывать. Как правило, изолированные провода не прокладываются незащищенными. При контакте с водой обычно выходят из строя провода с резиновой изоляцией в хлопчатобумажной оплетке. Кроме воды на резиновую изоляцию влияют нефтепродукты, что приводит к ее разбуханию и утрате всех необходимых свойств. Поэтому при возможности действия этих продуктов лучше применять провода с пластмассовой изоляцией.

Отрицательная температура приводит к отвердеванию изоляции, особенно пластмассовой, что является причиной ее растрескивания и откола при изгибе проводов. Это нужно учитывать при выборе проводов для передвижных механизмов.

Перегрузка проводов током приводит, прежде всего, к обгоранию изоляции у мест присоединения проводов к аппаратам или к электроприемникам. Возможно не только обгорание изоляции проводов, но и деталей корпусов, к которым крепятся токоведущие части, или панелей зажимов приборов. Устранить это явление можно только заменой проводов. При перегрузке током могут загореться и сами провода.

При выборе проводов надо учитывать условия внешней среды в месте их прокладки, напряжение, при котором они будут работать, и ток нагрузки. При выборе по длительно допустимому току его величину можно приблизительно определить по формуле

$$I_{\text{Н}} \approx 4{,}5P_{\text{Н}},$$

где $I_н$ – ток нагрузки, А; $P_н$ – номинальная мощность электроприемника, кВт.

Это приблизительное значение тока нагрузки можно принять, так как нельзя подобрать провод, имеющий точно такой длительно допускаемый ток, какой получается при точном расчете. Сечение проводов также выбирается с запасом.

Надежность проводов обусловлена их рабочим состоянием после монтажа, а также условиями окружающей среды при эксплуатации. Во время монтажа провода могут быть повреждены при неосторожном обращении. При изготовлении они наматываются на катушки или в моток. При отматывании провода с жесткой изоляцией собираются в кольца, и если их растянуть, не расправляя, то образуется перегиб или излом. Провод в этом месте будет ненадежным, поэтому применять его нельзя.

Могут быть и другие повреждения изоляции и токоведущих жил при монтаже.

Через неисправную изоляцию к токоведущим жилам может проникать влага, содержащая агрессивные примеси, или воздух с агрессивными газами, приводящие к коррозии металла провода. В таких случаях лучше всего заменить провод, а если он большой длины, то приходится вставлять новый участок. Если провод недоступен для замены, то он отсоединяется, а новый прокладывается в доступном месте.

Для соединения проводов с приборами, аппаратами и с другими проводами осуществляется разделка их концов. При этом производится отделение жил кабелей от общей изоляции и изолирование их отдельно с помощью изолент, клеев и других составов.

Как показывает практика, места разделки кабелей являются слабыми по надежности, так как здесь чаще всего происходит замыкание с перегоранием жил. Происходит это тогда, когда применен несоответствующий материал или разделка произведена небрежно. Места разделки проводов должны быть защищены от воздействий влаги и воздуха.

Следует учитывать возможность повреждения проводов грызунами, которые перегрызают любую изоляцию. Насекомые также небезобидны. Мухи и тараканы, забираясь между контактами и в зазоры, могут нарушать работу аппаратов. Для предотвращения этого места ввода проводов в корпуса приборов нужно уплотнять или замазывать различными составами.

Медные обмоточные провода

Для обмоток трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле, катушек колебательных контуров применяют *медные обмоточные провода* (табл. П4.3). Диаметр провода определяется плотностью тока, сопротивлением обмоток, соображениями удобства намотки и надежностью. Очень тонкие провода (диаметром менее 0,07 мм) не так надежны, значительно дороже и усложняют намотку.

Вид изоляции провода выбирают в зависимости от рабочей температуры обмотки, требуемой электрической прочности, допускаемого коэффициента заполнения окна магнитопровода.

Таблица П4.3. Медные обмоточные провода

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр медной жилы, мм	Максимальная рабочая температура, °С
ПЭВ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,02–2,44	120
ПЭВ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,06–2,44	120
ПЭВД	Один слой высокопрочной эмали с дополнительным термопластичным покрытием	0,2–0,5	–
ПЭВКЛ	Высокопрочная эмаль с покрытием на основе капроновой смолы	0,1–0,15	105
ПЭВЛО	Высокопрочная эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	105
ПЭВТЛ-1	Один слой высокопрочной теплостойкой эмали	0,06–1,56	120
ПЭВТЛ-2	Два слоя высокопрочной теплостойкой эмали	0,06–1,56	120
ПЭВШО	Высокопрочная эмаль и обмотка из искусственного шелка	0,07–0,51	105
ПЭЛ	Лакостойкая эмаль	0,03–2,44	105
ПЭЛКО	Лакостойкая эмаль и обмотка из капронового волокна	0,2–2,1	105
ПЭЛО	Лакостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,05–2,1	105
ПЭЛР-1	Один слой высокопрочной полиамидной эмали	0,1–2,44	120
ПЭЛР-2	Два слоя высокопрочной полиамидной эмали	0,1–2,44	120
ПЭЛУ	Лакостойкая эмаль (утолщенный слой)	0,05–2,44	105
ПЭЛШКО	Лакостойкая эмаль и обмотка из капронового волокна	0,1–1,56	105
ПЭЛШО	Лакостойкая эмаль и обмотка из натурального шелка	0,05–1,56	105
ПЭМ-1	Один слой высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭМ-2	Два слоя высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭМ-3	Три слоя высокопрочной эмали «металвин»	0,1–2,44	105
ПЭПЛО	Высокопрочная теплостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	120
ПЭТВ	Высокопрочная теплостойкая эмаль	0,06–2,44	130
ПЭТК	Теплостойкая эмаль	0,05–0,51	–
ПЭТЛО	Высокопрочная теплостойкая эмаль и обмотка из шелка с лавсаном	0,06–1,3	130

В приборах и трансформаторах полупроводниковой аппаратуры, предназначенных для работы в нормальных условиях, обычно используют провода в эмалевой изоляции (марки ПЭЛ, ПЭВ и др.). При высоких требованиях к надежности аппаратуры рекомендуются провода с двухслойной изоляцией (ПЭВ-2, ПЭВТЛ-2, ПЭЛР-2 и др.). Провода с комбинированной изоляцией применяются при повышенных механических нагрузках в процессе намотки или эксплуатации аппаратуры. Провода марки ПЭВТЛ отличаются сравнительно высокой стойкостью к нагреванию и большим сопротивлением изоляции. Их можно залуживать, погружая в расплавленный припой, а также при помощи паяльника без предварительной зачистки и применения флюсов.

Для изготовления бескаркасных обмоток используются провода марки ПЭВД с дополнительным термопластичным покрытием из лаков на поливинилацетатной основе. Но помните, что при нагреве до температуры 160–170 °С в течение 3–4 ч витки склеиваются.

Как видно из табл. П4.3, провода могут иметь покрытие (изоляцию) из эмали, волокнистых материалов или комбинированное. Эмаль обладает лучшими электроизоляционными свойствами, чем волокнистые материалы, кроме того, диаметр эмалевых проводов намного меньше.

Электроизоляционные свойства капронового волокна и натурального шелка несколько выше, чем хлопчатобумажного волокна. Капроновое волокно превосходит натуральный шелк по стойкости к истиранию и воздействию растворителей (бензин, бензол, минеральные масла и т.п.).

Основные параметры некоторых медных обмоточных проводов, применяемых при изготовлении и ремонте электрорадиотехнических устройств, приведены в табл. П4.4.

Высокочастотные обмоточные провода

Высокочастотные обмоточные провода (литцендраты) предназначены для изготовления высокочастотных катушек индуктивности с большой добротностью. Они представляют собой пучок эмалевых проволок диаметром 0,05, 0,07, 0,1 или 0,2 мм, перевитых особым способом. Весь пучок обычно покрывают волокнистой изоляцией (табл. П4.5). Благодаря определенному

Таблица П4.4. Характеристика медных обмоточных проводов

Диаметр медной жилы, мм	Сечение медной жилы, мм^2	Рабочий ток, А	ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭЛР-1	
			Количество витков на длине 1 см	Количество витков в сечении 1 см^2
0,05	0,00196	0,0049	128	13200
0,06	0,00283	0,0071	112	10150
0,07	0,00385	0,0096	100	8020
0,08	0,00502	0,0125	90	6500
0,09	0,00636	0,0159	81	5370
0,10	0,00785	0,0196	73	4360
0,12	0,0113	0,0282	63	3220
0,15	0,0176	0,0441	52	2190
0,16	0,0201	0,0502	47	1800
0,17	0,0227	0,0566	45	1620
0,18	0,0254	0,0635	42	1470
0,19	0,0283	0,0708	40	1340
0,20	0,0314	0,0784	39	1220
0,25	0,00491	0,123	31	770
0,31	0,0754	0,188	25	530
0,33	0,0855	0,213	24	474
0,35	0,0962	0,240	23	427
0,38	0,113	0,283	21	368
0,41	0,132	0,329	20	320
0,44	0,152	0,379	18	282
0,47	0,173	0,433	17	249
0,49	0,188	0,471	16	230
0,51	0,204	0,510	16	207
0,53	0,221	0,551	15	193
0,55	0,237	0,593	15	180
0,57	0,255	0,637	14	169
0,59	0,273	0,682	14	158
0,62	0,302	0,753	13	144
0,64	0,322	0,803	13	136
0,67	0,352	0,880	12	125
0,69	0,374	0,933	12	118
0,72	0,407	1,02	11	106
0,74	0,430	1,07	11	101
0,80	0,502	1,25	10	87
0,86	0,581	1,45	9	78
0,90	0,636	1,59	9	70
0,93	0,679	1,69	9	66
0,96	0,723	1,81	8	62
1,00	0,785	1,96	8	55

Таблица П4.4. Характеристика медных обмоточных проводов (окончание)

Диаметр медной жилы, мм	Сечение медной жилы, мм^2	Рабочий ток, А	ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭЛР-1	
			Количество витков на длине 1 см	Количество витков в сечении 1 см^2
1,08	0,916	2,29	7	48
1,12	0,985	2,46	7	45
1,20	1,13	2,82	7	39
1,25	1,23	3,06	6	36

Примечание к табл. Число витков в сечении 1 см^2 зависит от плотности намотки, числа и толщины межслойных прокладок.

расположению проволок в пучке ослабляется поверхностный эффект (вытеснение тока к поверхности провода под воздействием магнитного поля, возникающего при протекании тока) и, следовательно, уменьшается сопротивление провода токам высокой частоты.

Таблица П4.5. Высокочастотные обмоточные провода

Марка	Характеристика изоляции
ЛЭЛ	Без дополнительной изоляции
ЛЭЛД	С обмоткой из шелка с лавсаном в два слоя
ЛЭЛО	С обмоткой из шелка с лавсаном в один слой
ЛЭП	Без дополнительной изоляции
ЛЭПКО	С обмоткой из капронового волокна
ЛЭШД	С обмоткой из натурального шелка в два слоя
ЛЭШО	С обмоткой из натурального шелка в один слой

Провода марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением не требуют зачистки и применения каких-либо травильных составов. Основные параметры некоторых высокочастотных обмоточных проводов приведены в табл. П4.6.

Обмоточные провода высокого сопротивления

Обмоточные *провода высокого сопротивления* (табл. П4.7) используются для изготовления проволочных резисторов и шунтов. Последняя буква марки провода обозначает материал: М – мягкий, Т – твердый. Термостойкость этих проводов, так же, как и медных, определяется материалом изоляции. Основные

Таблица П4.6. Основные параметры высокочастотных обмоточных проводов

Диаметр проволоки, мм	Число проволок в пучке	Диаметр провода, мм					Расчетное сечение медной жилы, мм²	Сопротивление провода длиной 1 км при 20 °С, Ом, не более
		ЛЭЛ	ЛЭЛО, ЛЭШО	ЛЭЛД, ЛЭШД	ЛЭП	ЛЭПКО		
0,05	10	0,25	0,32	0,38	–	–	0,0196	1012
	16	0,31	0,38	0,44	–	–	0,0314	634
	20	0,34	0,41	0,47	–	–	0,0392	507
	50	–	–	0,71	–	–	0,098	209
0,06	3	–	–	–	0,2	–	0,0085	2300
	5	–	–	–	0,25	–	0,0142	1380
0,07	7	–	0,34	–	–	–	0,0269	760
	8	0,29	0,36	0,42	0,35	0,4	0,0308	624
	10	0,33	0,4	0,46	0,39	0,44	0,0385	499
	12	–	0,42	0,48	0,42	0,47	0,0462	416
	16	–	0,47	0,54	0,47	0,52	0,0616	312
	20	–	0,52	0,59	0,53	0,57	0,077	249
	27	–	0,58	0,65	–	–	0,104	190
	32	–	0,63	0,7	–	–	0,123	161
	50	–	0,82	0,89	–	–	0,193	85,6
0,1	9	0,44	0,51	0,58	0,48	0,53	0,0707	276
	12	0,5	0,57	0,64	0,54	0,59	0,0942	207
	14	0,54	0,61	0,68	0,58	0,63	0,11	177
	16	0,57	0,64	0,71	0,61	0,66	0,126	155
	19	0,6	0,67	0,74	–	–	0,149	131
	21	0,64	0,71	0,78	0,69	0,73	0,165	118
	24	0,68	0,75	0,82	0,74	0,78	0,188	103
	28	0,74	0,81	0,88	0,8	0,84	0,22	91,3

характеристики некоторых обмоточных проводов высокого сопротивления приведены в табл. П4.8.

Манганиновые провода выпускаются двух классов. ТКС проводов класса А составляет от $+3 \cdot 10^{-5}$ до $-4 \cdot 10^{-5}$, класса Б – от $+6 \cdot 10^{-5}$ до $-6 \cdot 10^{-5}$. Для малогабаритных высокоомных резисторов высокой стабильности выпускаются провода диаметром 6–10 мкм в сплошной стеклянной оболочке, обладающей хорошими изоляционными свойствами. Эти провода сортируют по их сопротивлению на единицу длины.

Таблица П4.7. Обмоточные провода высокого сопротивления

Марка	Характеристика изоляции	Диаметр жилы, мм
Константановые		
ПШДК	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
ПЭБОК	Эмаль и один слой обмотки х/б пряжи	0,04–1,0
ПЭВКМ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,1–0,8
ПЭВКМ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,1–0,8
ПЭВКТ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,03–0,8
ПЭВКТ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,03–0,8
ПЭК	Лакостойкая эмаль	0,03–1,0
ПЭШОК	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
Манганиновые		
ПШДММ	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
ПШДМТ	Два слоя обмотки из шелка	0,05–1,0
ПЭВММ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,05–0,8
ПЭВММ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,05–0,8
ПЭВМТ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,02–0,8
ПЭВМТ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,02–0,8
ПЭММ	Лакостойкая эмаль	0,05–1,0
ПЭМТ	Лакостойкая эмаль	0,03–1,0
ПЭМС	Высокопрочная эмаль	0,05–0,8
ПЭШОММ	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
ПЭШОМТ	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05–1,0
Нихромовые		
ПЭВНХ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,02–0,4
ПЭВНХ-2	Два слоя высокопрочной эмали	0,02–0,4
ПЭНХ	Лакостойкая эмаль	0,03–0,4

Монтажные провода

Монтажные провода выпускаются в полихлорвиниловой (ПВХ), полиэтиленовой (ПЭ), фторопластовой и волокнистой изоляции. Последние применяются в аппаратуре, работающей в нормальных условиях (при невысокой влажности воздуха и температуре), когда исключена возможность конденсации воды в приборах и отсутствуют резкие климатические изменения. Наиболее термостойки провода с фторопластовой изоляцией (до 250 °С).

По конструкции токопроводящей жилы различают однопроволочные (негибкие) и многопроволочные (гибкие) монтажные

Таблица П4.8. Удельное сопротивление проводов высокого сопротивления

Диаметр, мм	Сопротивление 1 м провода, Ом					
	Манганин		Константан		Нихром	
	М	Т	М	Т	Х15Н60	Х20Н80
0,02	–	1370	–	–	–	3374
0,025	–	876	–	–	–	2160
0,03	606	655	655	693	1528	1500
0,04	342	369	369	390	857	844
0,05	220	237	237	250	550	535
0,06	152	164	164	173	386	379
0,07	112	121	121	127	281	278
0,08	85,4	92,5	92,5	97,5	216	213
0,09	37,6	73,1	73,1	77	170	168
0,1	54,8	59,2	59,2	62,4	138	136
0,12	38,1	41,1	41,1	43,6	95,7	94,7
0,15	24,3	26,3	26,3	27,7	61,1	60,5
0,18	16,9	18	18	19	43	42,1
0,2	13,7	14,8	14,8	15,6	35,3	34,1
0,22	11,3	–	12,1	12,9	29,2	28,2
0,25	8,76	9,5	9,5	9,98	22,6	21,8
0,28	–	–	7,55	7,96	18	17,4
0,3	6,06	6,6	6,6	6,93	15,3	15,2
0,32	–	–	–	–	13,8	13,3
0,35	4,47	4,83	4,83	5,09	11,3	11,1
0,38	3,81	–	4,1	4,32	–	–
0,4	3,42	3,7	3,7	3,9	8,59	8,52
0,45	2,71	2,92	2,92	3,09	6,98	6,73
0,5	2,2	2,37	2,37	2,5	5,66	5,45
0,55	1,82	1,96	1,96	2,06	–	–
0,6	1,52	1,65	1,65	1,73	4,07	3,82
0,65	1,36	1,4	1,4	1,49	–	–
0,7	1,12	1,21	1,21	1,27	2,91	2,84
0,75	0,975	–	1,05	1,12	–	–
0,8	0,854	0,925	0,925	0,975	2,23	2,17
0,85	–	–	0,82	0,864	–	–
0,9	0,675	0,731	0,731	0,77	1,76	1,72
1,0	0,548	0,592	0,592	0,624	1,42	1,39

провода. У последних токопроводящая жила свита из тонких медных проволок (голых или луженых).

Основные параметры некоторых монтажных проводов приведены в табл. П4.9.

Таблица П4.9. Основные характеристики монтажных проводов

Марка	Конструкция	Номинальное сечение жилы, мм²	Максимальное рабочее напряжение, В	Интервал рабочих температур, °С
МГВ	Многопроволочный, изолированный ПВХ	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0	220	–60–+70
МГВЭ	МГВ экранированный	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0	220	–60–+70
МГШ	Многопроволочный, изолированный одним слоем оплетки из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1	24	–60–+90
МГШД	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5	60	–60–+90
МГШДЛ	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка, лакированный	0,05; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5	250	–60–+100
МГШДО	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из искусственного шелка	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5	100	–60–+90
МПМ	Многопроволочный, изолированный ПЭ	0,12; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5	250	–50–+100
МШВ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из шелка	0,07 0,2; 0,5; 0,75; 1,5	380 1000	–50–+70
МШП	Однопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и ПЭ	0,07 0,2; 0,5; 1,75; 1,0	380 1000	–50–+70
ПМВ	Однопроволочный, изолированный ПВХ	0,2; 0,5; 0,75	380	–60–+70
ПМВГ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из х/б пряжи или стекловолокна и ПВХ	0,2; 0,35; 0,5; 0,75	380	–60–+70
ПМОВ	Однопроволочный, изолированный обмоткой из х/б пряжи или стекловолокна и ПВХ	0,2; 0,35; 0,5; 0,75	380	–60–+70
ПМП	Однопроволочный, изолированный ПЭ	0,24; 0,5	380	–60–+70

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Обозначение и маркировка резисторов

Резисторы классифицируются по характеру изменения сопротивления (постоянные, переменные, подстроечные), по назначению (общего назначения, высокочастотные, высоковольтные и др.), по материалу резистивного элемента (проволочные, непроволочные). Непроволочные резисторы в зависимости от материала токопроводящего слоя подразделяются на металлодиэлектрические, металлоокисные, углеродистые, лакопленочные, на проводящей пластмассе и др.

До 1968 года условное обозначение типов резисторов отечественного производства состояло из букв. Первая буква обозначала вид резистивного элемента:

- У – углеродистый;
- К – композиционный;
- М – металлопленочный;
- Б – бороуглеродистый.

Второй буквой указывался вид защиты резистивного элемента:

- Л – лакированный;
- Г – герметичный;
- Э – эмалированный;
- И – изолированный;
- В – вакуумированный.

Третья буква означала особые свойства резистора:

- Т – теплостойкий;
- П – прецизионный;
- В – высокоомный;
- М – малогабаритный;
- О – объемный;
- Н – низкоомный.

Иногда вид резистивного элемента обозначался двумя буквами (МО – металлоокисный); вторая буква могла указывать и на особые свойства (М – мегаомный, Т – теплостойкий). Тип резистора записывался и без указания вида резистивного элемента.

Например, углеродистые влагостойкие резисторы обозначали как ВС. На первом месте могла стоять буква О – «особой серии» (например, ОМЛТ – металлопленочный лакированный теплостойкий с повышенной механической прочностью). Через дефис указывалась номинальная мощность резистора. Проволочное сопротивление обозначалось как ПЭ или ПЭВ.

Номинальными параметрами резистора являются номинальная мощность рассеяния $P_{ном}$, номинальное сопротивление R, допускаемое отклонение сопротивления, или допуск, температурный коэффициент сопротивления (ТКС), который показывает относительное обратимое изменение сопротивления при изменении температуры резистора на 1 °С. Чем меньше ТКС, тем большей температурной стабильностью обладает резистор. Номинальную мощность резистора можно узнать по маркировке на корпусе или в зависимости от размеров по табл. П5.1.

Таблица П5.1. Номинальная мощность резисторов в зависимости от габаритных размеров

Тип резистора	Диаметр, мм	Длина, мм	$P_{ном}$, Вт
ВС	2,5	7	0,125
УЛМ, ВС	5,5	16,5	0,25
ВС	5,5	26,5	0,5
	7,6	30,5	1
	9,8	48,5	2
	25	75	5
	30	120	10
КИМ	1,8	3,8	0,05
	2,5	8	0,125
МЛТ	2	6	0,125
	3	7	0,25
	4,2	10,8	0,5
	6,6	13	1
	8,6	18,5	2

Переменное сопротивление обозначалось как СП или СПО, переменное проволочное – ППБ, ППЗ.

В соответствии с ГОСТ 13453-68 обозначение резисторов состоит из следующих элементов:

- типа резистора (С – постоянного сопротивления, СП – переменного сопротивления, СТ – терморезистор, СН – варистор);

- цифры, характеризующей конструкцию токопроводящего элемента (1 – углеродистый или бороуглеродистый; 2 – металлопленочный, металлооксидный или металлодиэлектрический; 3 – тонкий пленочный композиционный слой, нанесенный на изоляционное основание; 4 – объемный композиционный токопроводящий элемент; 5 – проволочный);
- порядкового номера разработки резистора.

Номинальная мощность указывалась только на непроволочных резисторах больших габаритов. Для малогабаритных резисторов она определялась по размеру корпуса.

Для переменного резистора отечественного производства условное буквенно-цифровое обозначение типономинала имеет вид:

- СП (сопротивление переменное);
- цифра, характеризующая конструкцию токопроводящего элемента (2 –металлооксидный; 3 – тонкий пленочный композиционный слой, нанесенный на изоляционное основание; 4 – объемный композиционный токопроводящий элемент; 5 – проволочный);
- порядковый номер разработки резистора;
- строчная буква, указывающая на его конструктивный вариант (дополнительная буква М – модернизированная конструкция);
- номинальная мощность рассеяния;
- номинальное сопротивление;
- допустимое отклонение от номинала;
- вид функциональной характеристики.

Кроме того, на корпус резистора наносят четырехзначное число, первые две цифры которого указывают месяц, а остальные – год выпуска. Маркировка номинала соответствует маркировке постоянных резисторов. Допустимое отклонение от номинала ±20% кодируют буквой В, ±30% – буквой Ф.

Линейная зависимость изменения сопротивления от перемещения движка (для резистора в круглом корпусе – по часовой стрелке, а для резистора с поступательным перемещением движка – слева направо) обозначается буквой А, близкая к обратнологарифмической – буквой Б и близкая к

логарифмической – буквой В. Сдвоенный переменный резистор, предназначенный для регулирования стереобаланса, маркируется буквами Е/И (в таком резисторе при перемещении движка сопротивление одной секции увеличивается, а другой одновременно уменьшается).

Пример. СП3-26а 0,25 Вт М22ВА 1289 – непроволочный переменный резистор с токопроводящим элементом на тонком композиционном слое, порядковый номер разработки – 26, конструктивный вариант – «а» (одинарный резистор), номинальная мощность рассеяния – 0,25 Вт, номинальное сопротивление – 220 кОм, фактическое сопротивление может отличаться от номинального на ±20%, функциональная характеристика линейная. Изготовлен резистор в декабре 1989 г.

Исключение составляют резисторы старого типа, условное обозначение которых после букв СП содержит римскую цифру, причем I – одинарный резистор без стопора оси; II – то же, но со стопором; III – сдвоенный, без стопора оси; IV – то же, но со стопором. В этом случае на вид функциональной характеристики указывает первая буква после римской цифры. Далее записываются номинальная мощность, номинальное сопротивление, допустимое отклонение от номинала, дата изготовления.

В настоящее время система обозначений резисторов состоит из следующих букв и цифр:

Первый элемент (буква):

- Р – резисторы постоянные;
- РП – резисторы переменные;
- ТР – терморезисторы с отрицательным ТКС;
- ВР – варисторы постоянные;
- ВРП – варисторы переменные.

Второй элемент (цифра):

- 1 – непроволочные;
- 2 – проволочные, металлофольговые;
- отсутствует – полупроводниковые материалы.

Третий элемент (цифра после дефиса) – порядковый номер разработки.

Пример. Р1-18 – постоянный непроволочный с порядковым номером разработки 18. ТР-5 – терморезистор с отрицательным ТКС, порядковый номер разработки – 5.

Если позволяют размеры резистора широкого применения, на его корпус наносится маркировка, которая содержит сокращенное обозначение, мощность, номинальное сопротивление и допуск. Для этого используют специальный четырехзначный *буквенно-цифровой код* (ГОСТ 11076-69). Первые три знака (буква и две цифры) обозначают номинал, последний (буква) – допуск.

В номиналах резисторов буквы R (по-старому ГОСТу – E, иногда ставилась буква греческого алфавита Ω), K, M, G и T обозначают соответственно ом (Ом), килоом (кОм), мегаом (МОм), гигаом (ГОм) и тераом (ТОм). Сопротивление менее 100 Ом указывают в омах, от 1 до 99 кОм и от 1 до 99 МОм соответственно в килоомах и мегаомах, а от 100 до 999 Ом и от 100 до 999 кОм соответственно в долях килоома и мегаома, помещая код единицы сопротивления на месте нуля и запятой. Аналогично поступают и в том случае, если номинал представляет собой число, состоящее из одной цифры (на месте десятых долей помещают цифру 0). Примеры обозначений номинала резистора приведены в табл. П5.2 и на рис. П5.1. На корпусе иногда помещается также знак или код завода-изготовителя.

Таблица П5.2. Буквенно-цифровое обозначение номинальных сопротивлений резисторов

Диапазон сопротивлений	Единица измерения	Примеры	
		Величина сопротивления	Маркировка
1–9,9 Ом	Ом	1 Ом	1E0; 1R0
		4,7 Ом	4E7; 4R7
10–99 Ом	Ом	33 Ом	33E; 3R3
		75 Ом	75E; 75R
100–999 Ом	Килоом	100 Ом = 0,1 кОм	K10
		820 Ом = 0,82 кОм	K82
1–9,9 кОм	Килоом	2,7 кОм	2K7
		6,8 кОм	6K8
10–99 кОм	Килоом	10 кОм	10K
		91 кОм	91K
100–999 кОм	Мегаом	120 кОм = 0,12 МОм	M12
		750 кОм = 0,75 МОм	M75
1–9,9 МОм	Мегаом	3 МОм	3M0
		5,1 МОм	5M1
10–99 МОм	Мегаом	10 МОм	10M
		47 МОм	47M

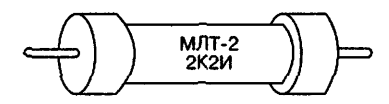


Рис. П5.1. Буквенно-цифровая маркировка на корпусе резистора

Примечание к рис. Расшифровка: тип МЛТ, мощность рассеяния 2 Вт, сопротивление 2,2 кОм, допуск 5%.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) – относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1 °С (на резисторе обычно не указывается). Его значение для большинства типов резисторов не превышает 0,02%/°С, что не влияет существенным образом на параметры схемы.

Фактическое значение сопротивления или емкости каждого радиоэлемента отличается от номинальной, но не более чем на величину допуска. Допустимое отклонение сопротивления от номинального значения обозначается буквами (табл. П5.3). С учетом этого надпись К18И расшифровывается как номинальное сопротивление 180 Ом с допуском не более ±5%.

Таблица П5.3. Буквенное обозначение допустимого отклонения сопротивления от номинального значения

Величина отклонения, %	Буквенное обозначение по старому ГОСТ (до 1980 г.)	Международное буквенное обозначение
от +100 до −10	Ю	–
+100	Я	–
от +80 до −20	А	–
от +50 до −20	Б	–
от +50 до −10	Э	–
±30	Ф	–
±20	В	M
±10	С	K
±5	И	I
±2	Л	G
±1	Р	F
±0,5	Д	D
±0,2	У	C
±0,1	Ж	B

Номинальные значения выбираются из рядов E (табл. П5.4).

Таблица П5.4. Ряды E номинальных сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов

Индекс ряда	Номинальные значения (единицы, десятки, сотни ом, килоом, мегаом, гигаом, пикофарад, нанофарад, микрофарад, фарад)						Допустимые отклонения от номинальных значений, %
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±20
E12	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
E24	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	±5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	
E48	1,00	1,47	2,18	3,23	4,76	6,70	±2
	1,05	1,55	2,29	3,39	5,00	7,04	
	1,10	1,63	2,41	3,56	5,25	7,39	
	1,16	1,71	2,53	3,73	5,52	7,76	
	1,22	1,80	2,65	3,92	5,60	8,15	
	1,28	1,89	2,79	4,12	5,79	8,56	
	1,34	1,98	2,93	4,32	6,08	9,00	
	1,41	2,08	3,07	4,54	6,39	9,43	
E96	см. примечание						±1
E192	см. примечание						±0,5

Примечание к табл.: Ряды E представляют собой геометрическую прогрессию со знаменателем q_n, равным:

для ряда E6 $q_6 = \sqrt[6]{10} = 1{,}47$;

для ряда E12 $q_{12} = \sqrt[12]{10} = 1{,}21$;

для ряда E24 $q_{24} = \sqrt[24]{10} = 1{,}1$;

для ряда E48 $q_{48} = \sqrt[48]{10} = 1{,}05$;

для ряда E96 $q_{96} = \sqrt[96]{10} = 1{,}025$;

для ряда E192 $q_{192} = \sqrt[192]{10} = 1{,}012$.

Номинальные значения с допустимым отклонением более 20% выбираются из ряда Е6.

На электрических схемах постоянные резисторы имеют внутри символа обозначения знак, указывающий номинальную мощность рассеяния (рис. П5.2). Рядом с условным обозначением резистора указывается величина его номинального сопротивления и знак R с цифрой или числом, указывающим порядковый номер резистора на схеме.

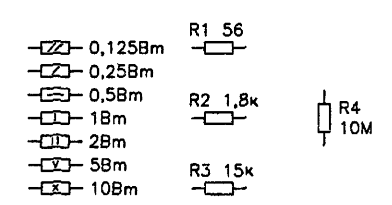


Рис. П5.2. Обозначение резисторов на электрических схемах

Величины номинальных сопротивлений от 1 до 99 Ом указываются числом без единицы измерения, например 5,6; 56. Величины сопротивлений от 1 до 999 кОм обозначаются числом с буквой «к» – 5,6 к; 56 к. Величины сопротивлений в мегаомах на схемах указывают числом с буквой «М» – 5,6 М; 56М.

Обозначение и маркировка конденсаторов

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям. Условное обозначение типа конденсатора до 1968 года было буквенным. На первом месте обычно стоит буква:

- К – керамический;
- СК – стеклокерамический;
- КС – стеклоэмалевый;
- КС, С – слюдяной;
- Б – бумажный;
- МБ – металлобумажный;
- П – пленочный, металлопленочный, полистирольный;
- Ф – фторопластовый;
- КЭ, Э – электролитический;
- КОПП – оксидно-полупроводниковый;

- КПЕ – переменный;
- КП – переменный и подстроечный.

Последующие буквы имеют значения:

- В – с воздушным диэлектриком (КПВ);
- Г – герметизированный (КЛГ, МБГО, СГМ);
- Д – дисковый (КД);
- К – керамический (КПК);
- Л – *литой* (КЛС, КЛГ);
- М – монолитный (КМ), малогабаритный (КТПМ, КПВМ, КПКМТ, БМ, МБМ, ПМ, СГМ, ЭМ), многослойный (СКМ);
- О – опорный (КО, КДО), опрессованный (КСО, КСОТ);
- П – проходной (КТП);
- С – секционный (КЛС);
- Т – трубчатый (КТ, КТП, КПКМТ, ЭТ), термостойкий (КСОТ, СКМ-Т, ФТ), с твердым диэлектриком (КПТМ);
- У – для УКВ диапазона (КДУ);
- Ц – цилиндрический (ЭГЦ).

Через дефис цифрой мог быть указан порядковый номер разработки (например, КМ-4).

В соответствии ГОСТ 13453-68 маркировка конденсаторов состоит из трех элементов. Первый (одна или две буквы) обозначает группу конденсаторов:

- К – конденсатор постоянной емкости;
- КТ – конденсатор подстроечный;
- КП – конденсатор переменный.

Второй элемент – число, обозначающее разновидность конденсатора:

- 1 – вакуумный;
- 2 – с воздушным диэлектриком;
- 4 – с твердым диэлектриком;
- 10 – керамический на номинальное напряжение до 1600 В;
- 15 – керамический на номинальное напряжение 1600 В и выше;
- 21 – стеклянный;
- 22 – стеклокерамический;
- 26 – тонкопленочный;
- 31 – *слюдяной малой мощности*;

- 32 – слюдяной большой мощности;
- 40 – бумажный на номинальное напряжение до 2 кВ с обкладками из фольги;
- 42 – бумажный металлизированный (металлобумажный);
- 50 – оксидно-электролитический фольговый алюминиевый;
- 51 – оксидно-электролитический танталовый;
- 52 – оксидно-электролитический объемно-пористый;
- 53 – оксидно-полупроводниковый;
- 70 – полистирольный;
- 71 – полистирольный;
- 72 – фторопластовый;
- 73 – металлопленочный полиэтилентерефталатный;
- 74 – металлопленочный полиэтилентерефталатный;
- 75 – бумажно-пленочный;
- 76 – лакопленочный;
- 77 – поликарбонатный;
- 78 – полипропиленовый.

Третий элемент – порядковый номер разработки конденсатора.

На самих конденсаторах могут использоваться русские и латинские буквы для обозначения множителя величины: П (p) – пикофарады (1 пФ = 10^{-12} Ф); Н (n) – нанофарады (1 нФ = = 1000 пФ = 10^{-9} Ф); М (μ) – микрофарады (1 мкФ = 1000 нФ = = 10^{-6} Ф); И (m) – миллифарады (1 мФ = 1000 мкФ = 10^{-3} Ф); Ф (F) – фарады. Эти буквы используются в качестве запятых при указании дробных значений емкости, например обозначение 3Н3 или 3n3 соответствует 3300 пФ.

На конденсаторах, имеющих корпус достаточно большого размера, могут обозначаться тип, номинальная емкость (табл. П5.5), допуск, группа ТКЕ, номинальное напряжение, завод-изготовитель, месяц и год выпуска и другие данные. Если конденсатор подобного типа выпускается только одного класса точности, то допуск не маркируют. Если же размеры не позволяют, то применяется цветовая маркировка (см. ниже).

Допустимое отклонение емкости от номинального значения обозначается буквами (табл. П5.6). С учетом этого надпись Н10С расшифровывается как номинальная емкость 100 пФ±10%.

Таблица П5.5. Буквенно-цифровое обозначение номинальных емкостей конденсаторов

Диапазон емкостей	Единицы измерения	Примеры	
1–9,9 пФ	Пикофарады	1 пФ	1П0; 1p0
		4,7 пФ	4П7; 4p7
10–99 пФ	Пикофарады	33 пФ	33П; 33p
		75 пФ	75П; 75p
100–999 пФ	Нанофарады	100 пФ = 0,1 нФ	Н10; n10
		820 пФ = 0,85 нФ	Н82; n82
1000–9999 пФ	Нанофарады	2700 пФ = 2,7 нФ	2Н7; 2n7
		6800 пФ = 6,8 нФ	6Н8; 6n8
0,01–0,99 мкФ	Нанофарады	0,047 мкФ = 47 нФ	47Н;47n
0,1–0,99 мкФ	Микрофарады	0,1 мкФ = 0,10 мкФ	М10; µ10
		0,33 мкФ	М33; µ33
1–9,9 мкФ	Микрофарады	1 мкФ	1М0; 1µ0
		3,3 мкФ	3М3; 3µ3
10–99 мкФ	Микрофарады	10 мкФ	10М; 10µ
		47 мкФ	47М; 47µ

Таблица П5.6. Буквенное обозначение допустимого отклонения емкости от номинального значения

Величина отклонения, %	Буквенное обозначение по старому ГОСТ (до 1980 г.)	Международное и буквенное обозначение
от +100 до –10	Ю	Y
+100	Я	–
от +80 до –20	А	Z
от +50 до –20	Б	S
от +50 до –10	Э	T
от +30 до –10	–	Q
±30	Ф	N
±20	В	M
±10	С	K
±5	И	I
±2	Л	G
±1	Р	F
±0,5	Д	D
±0,25	У	C
±0,1	Ж	B
±0,05	–	X
±0,02	–	U
±0,01	–	P
±0,005	–	R
±0,002	–	L
±0,001	–	E

В отличие от резисторов на некоторых конденсаторах (в частности на керамических, стеклянных и стеклокерамических) указывают код группы температурного коэффициента емкости (ТКЕ) – относительного изменения емкости конденсатора при изменении температуры окружающей среды на 1 °С. Он состоит из буквы и нескольких цифр. Буква П обозначает положительный знак ТКЕ, М – отрицательный, а цифры – число, равное среднему значению ТКЕ, умноженному на 10^{-6}. Например, надпись П33 расшифровывается как ТКЕ, равный $+33 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$ (или +0,0033% / °С), М47 – ТКЕ, равный $-47 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$ (или –0,0047% / °С) и т.д. Конденсаторы с нулевым ТКЕ обозначаются кодом МП0 (табл. П5.7).

Таблица П5.7. Характеристика групп температурной стабильности керамических, стеклянных и стеклокерамических конденсаторов

Код группы ТКЕ	Буквенный код	Номинальное значение ТКЕ, %/°С	Цвет покрытия корпуса	Цвет маркировочного знака
П100	A	+0,01	Синий	–
П60	G	+0,006	Серый	Красный
П33	N	+0,0033	Серый	–
МП0	C	0	Голубой	Черный
М33	H	–0,0033	Голубой	Коричневый
М47	M	–0,0047	Голубой	–
М75	L	–0,0075	Голубой	Красный
М150	P	–0,015	Красный	Оранжевый
М220	R	–0,022	Красный	Желтый
М330	S	–0,033	Красный	Зеленый
М470	T	–0,047	Красный	Синий
М750	V	–0,075	Красный	–
М1500	U	–0,15	Зеленый	–
М2200	K	–0,22	Зеленый	Желтый
М3300	Y	–0,33	–	–

Примечание к табл. Конденсаторы могут быть покрыты эмалью любого цвета (не только той, что указана в таблице), с буквенно-цифровой маркировкой или обозначением в виде двух рядом расположенных цветных знаков (точек или полос). При этом конденсаторы групп П100, П33, М47, М750, М1500 должны иметь один цветной знак, соответствующий цвету покрытия корпуса конденсатора. Для других групп цвет первого знака должен соответствовать цвету покрытия, а второго – цвету маркировочного знака. В последнем случае первый знак должен быть приблизительно в два раза больше второго. Кроме того, маркировочный знак на трубчатых конденсаторах помещается со стороны вывода внешнего электрода.

На керамических конденсаторах КМ перед кодом группы ТКЕ может стоять еще одна цифра, которая обозначает разновидность конденсатора. Так, маркировка 5П33 указывает, что перед вами конденсатор КМ-5 с группой ТКЕ П33, 4М750 – конденсатор КМ-4 с группой ТКЕ М750 и т.д.

Иначе кодируют ТКЕ на слюдяных конденсаторах. Здесь условное обозначение группы ТКЕ состоит из одной буквы, причем буква А представляет собой ненормируемый ТКЕ, Б – ТКЕ, равный $\pm 200 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}, В – $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}, Г – $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}.

Допустимое изменение емкости конденсатора с диэлектриком из низкочастотной керамики (корпус оранжевого цвета) относительно емкости при 20 °C в интервале температур от –60 °C до +85 °C маркируется цветной точкой (табл. П5.8).

Таблица П5.8. Допустимые изменения емкости конденсаторов с оранжевым корпусом

Код группы ТКЕ	Буквенный код	Допустимое изменение емкости, %	Цвет маркировочной точки на корпусе оранжевого цвета
Н10	B	±10	Черный
Н20	–	±20	Красный
Н30	D	±30	Зеленый
Н50	X	±50	Синий
Н70	E	±70	Фиолетовый (или отсутствует)
Н90	F	±90	Белый

Не так давно на российском рынке появились керамические конденсаторы азиатского производства емкостью от 1 пФ до 40000 пФ с отрицательным ТКЕ. Расшифровка их маркировки представляет определенную трудность. Так, на конденсаторах емкостью до 99 пФ указывается число пикофарад. Обозначение емкости более 100 пФ состоит из трех цифр: первые две указывают значение первого сомножителя, а третья – степень числа 10 (второго сомножителя). Например, маркировка 201 расшифровывается как $20 \cdot 10^1 = 200$ пФ. Емкость конденсаторов более 2000 пФ иногда указывается и в микрофарадах. Так конденсатор емкостью 3300 пФ может иметь маркировку 332 или 0,0033.

Воспользовавшись табл. П5.9, можно определить максимальное рабочее напряжение для конденсаторов.

Таблица П5.9. Рабочее напряжение конденсаторов

Максимальное рабочее напряжение, В	Буквенный код
1	I
1,6	R
2,5	M
3,2	A
4,0	C
6,3	B
10	D
16	E
20	F
25	G
32	H
40	S
50	J
63	K
80	L
100	N
125	P
160	Q
200	Z
250	W
315	X
350	T
400	Y
450	U
500	V

В последние годы на радиодетали часто наносят кодированное обозначение даты изготовления. Эти обозначения располагаются после основного кода и могут состоять либо из двух букв латинского алфавита, либо из одной такой буквы и арабской цифры. Условные обозначения, присвоенные годам, приведены в табл. П5.10, коды месяца (второй знак в обозначении на элементе) даны в табл. П5.11. Они же используются и на других деталях, например микросхемах.

Для малогабаритных конденсаторов кроме полной маркировки часто используют кодированное обозначение, которое состоит из букв и цифр, определяющих ТКЕ, номинальную емкость, допустимое отклонение емкости от номинала, рабочее напряжение и другие данные. Примеры обозначений на корпусе конденсаторов приведены на рис. П5.3.

На электрических схемах конденсаторы постоянной емкости имеют обозначение, показанное на **рис. П5.4. Рядом с условным** обозначением конденсатора находится **знак С с цифрой**

Таблица П5.10. Условное обозначение года выпуска конденсатора

Год выпуска	Буквенный код
1983	R
1984	S
1985	T
1986	U
1987	V
1988	W
1989	X
1990	A
1991	B
1992	C
1993	D
1994	E
1995	F
1996	H
1997	J
1998	K
1999	L
2000	N
2001	–
2002	–
2003	–
2004	–

Таблица П5.11. Условное обозначение месяца выпуска конденсатора

Месяц выпуска	Код
Январь	1
Февраль	2
Март	3
Апрель	4
Май	5
Июнь	6
Июль	7
Август	8
Сентябрь	9
Октябрь	0
Ноябрь	N
Декабрь	D

или числом, указывающим порядковый номер конденсатора на схеме, и величина его номинальной емкости.

Величины номинальных емкостей от 1 до 9900 пФ обозначаются числом без единицы измерения (например, 5600; 5,6). Величины емкостей от 0,01 до 9999 мкФ – числом с буквами «мк» (например, 0,056 мк; 56 мк). На электрических схемах,

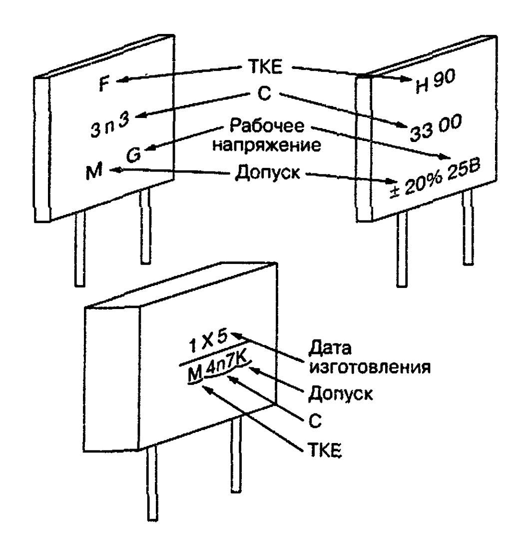


Рис. П5.3. Буквенно-цифровая маркировка на корпусе конденсатора

C1 1,5
C2 33
C3 4700
C4 0,22мк
C5 68мк x 20В
C6 1000
C7 0,047мк
C8 20мк x 25В

Рис. П5.4. Обозначение конденсаторов на электрических схемах

взятых из иностранных источников, могут встречаться и другие обозначения. Например, обозначение 5n6 означает емкость 5,6 нФ или 5600 пФ.

Цветовая маркировка радиоэлементов

В последнее время маркировку номиналов малогабаритных резисторов и конденсаторов все чаще указывают не буквенно-цифровым обозначением, а *цветовым кодом*. На корпус детали наносят цветные кольцевые или точечные метки (рис. П5.5), которые указывают на сопротивление, допуск и ТКС резистора или емкость, допуск и ТКЕ конденсатора (см. табл. П5.12).

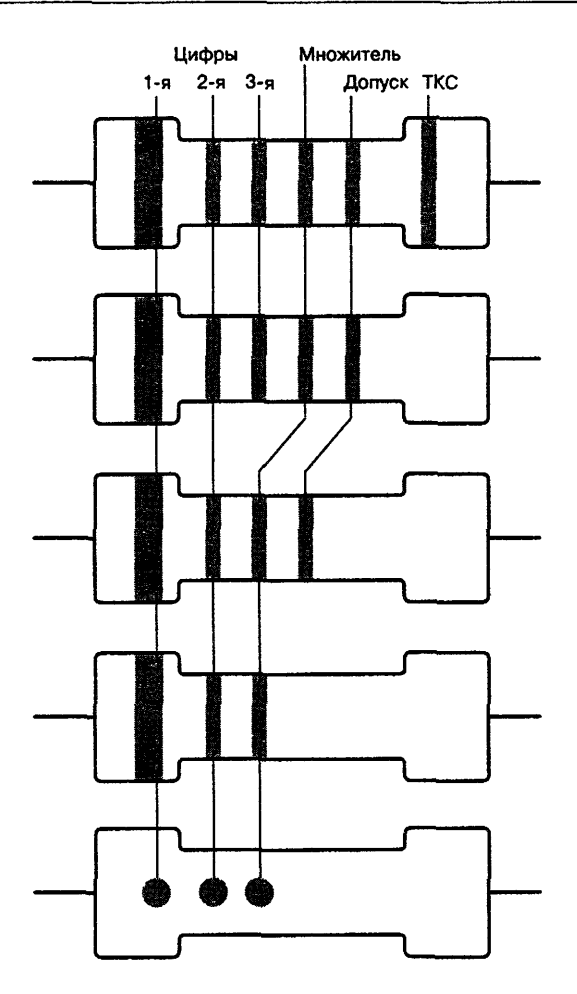


Рис. П5.5. Цветовая маркировка резисторов

Такой способ маркировки гораздо удобнее. Во-первых, разглядеть мелкие цифры на корпусе резистора мощностью менее 0,5 Вт нелегко; особенно трудно прочитать надпись черного цвета на резисторах МЛТ-0,125, покрытых темно-зеленой краской. Цветные же полосы хорошо различимы. Во-вторых, надпись может стереться, а полосы, нанесенные вокруг всего корпуса резистора, полностью не исчезнут – какая-то их часть все равно сохранится. И наконец, «полосатая» маркировка установленного

на плату резистора всегда хорошо видна. А резисторы с буквенно-цифровым обозначением зачастую размещают так, что надпись оказывается снизу, и прочитать ее не удается.

Параметры резистора указывают тремя, четырьмя, пятью и даже шестью полосами, причем первая полоса обычно расположена ближе к одному из выводов компонента (иногда она шире остальных). Если на корпус резистора нанесены четыре полосы, то цвет первых двух соответствует первым цифрам сопротивления. Третья полоса обозначает множитель, на который надо умножать число, указываемое первыми двумя полосами, чтобы определить сопротивление резистора в омах. Если же на резистор нанесены пять или шесть полос, то три первых обозначают три цифры, четвертая – множитель, а пятая – допуск. Шестая полоса означает ТКС резистора. Если на резисторе только три полосы, его допуск – 20% и все полосы означают сопротивление (табл. П5.12).

Таблица П5.12. Соответствие цветов в маркировке резисторов и конденсаторов к рис. П5.5, П5.6, П5.7

Цвет кольца (точки)	1-я, 2-я и 3-я цифры	Множитель	Допуск, %	ТКС, %/°С	Код ТКЕ
Золотистый	–	10^{-1}	±5	–	–
Серебристый	–	10^{-2}	±10	–	–
Черный	0	1	±20	–	МП0
Коричневый	1	10	±1	0,1	М33
Красный	2	10^2	±2	0,05	М75
Оранжевый	3	10^3	–	0,015	М150
Желтый	4	10^4	–	0,025	М220
Зеленый	5	10^5	±0,5	–	М330
Голубой	6	10^6	±0,25	0,01	М470
Фиолетовый	7	10^7	±0,1	0,005	М750
Серый	8	10^8	±0,05	–	П33
Белый	9	10^9	–	–	–

Примечание к табл. На конденсаторах с оранжевым корпусом цвет полосы, обозначающей код ТКЕ, соответствует данным из табл. П5.8.

Обычно в справочниках приводятся объемные таблицы, в которых указано, что обозначает тот или иной цвет в зависимости от того, какая полоса им окрашена. На самом деле все намного проще. Цифра, закодированная цветной полосой, не зависит от порядкового номера этой полосы (за исключением полосы, указывающей допуск). Достаточно знать (запомнить

или держать под рукой таблицу) лишь соответствие цвета цифре, как показано в табл. П5.12.

Параметры цилиндрического (трубчатого) конденсатора указываются тремя, пятью или шестью цветными полосами (рис. П5.6). Их значения идентичны маркировке резистора. Первые две (три) цифры определяют емкость конденсатора в пикофарадах, следующая цифра – множитель, далее – допуск и код ТКЕ. Обратите внимание, что полоса маркировки кода ТКЕ шире остальных. Если на конденсаторе только три полосы, его допуск – 20 % и все полосы означают только емкость (табл. П5.12).

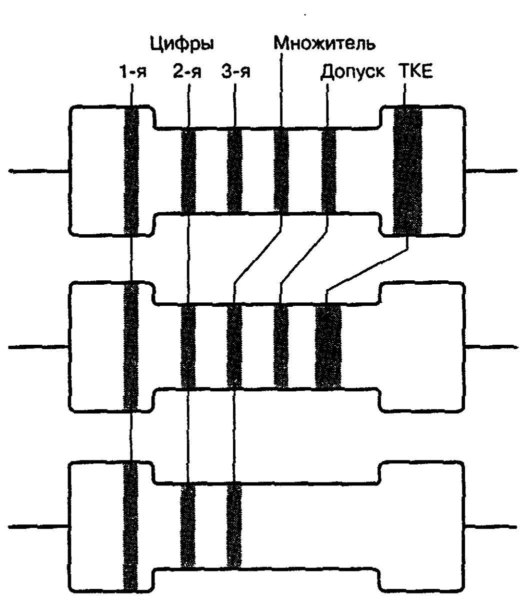


Рис. П5.6. Цветовая маркировка трубчатых конденсаторов

Зная эти соответствия, легко определить параметры радиоэлемента. Например, на резистор нанесены четыре полосы в следующем порядке: желтая, фиолетовая, красная, серебристая. Из таблицы видим, что первые две полосы обозначают цифры 4 и 7. К ним нужно приписать два нуля, о чем говорит цвет третьей полосы (множитель 10^2). Итак, получается, что сопротивление резистора – 4700 Ом, то есть 4,7 кОм. Величину допуска (четвертая полоса) также определяем по таблице. Она равна ±10%.

Рассмотрим другой пример. На резистор нанесены оранжевая, голубая, черная и золотистая полосы. Первые две соответствуют цифрам 3 и 6, а третья обозначает множитель 1. Поэтому не нужно дописывать ни одного нуля. Следовательно, полное сопротивление резистора – 36 Ом, допуск – ±5%.

В том случае, если третья полоса (или четвертая, если на резисторе их пять или шесть) золотистая или серебристая, необходимо «передвинуть» десятичную запятую соответственно на одну или две позиции влево. Например, следующие по порядку серая, красная и золотистая полосы обозначают сопротивление 8,2 Ом.

Сопротивление резистора можно приблизительно определить и по одной предпоследней цифре. Рассмотрим это на примере резисторов с четырьмя полосами. Черная третья полоса говорит о том, что резистор имеет сопротивление десятки ом, коричневая – сотни ом, красная – единицы килоом, оранжевая – десятки килоом, желтая – сотни килоом, зеленая – единицы мегаом и т.д. Если на маркировке резистора первые три полосы красные, по третьей цифре можно сразу определить, что он имеет сопротивление от 1 до 10 кОм, а поскольку первые две полосы тоже соответствуют цифре 2, делаем вывод, что сопротивление резистора 2,2 кОм.

Параметры конденсатора определяются аналогичным образом. Например, чередование колец на конденсаторе оранжевое, белое, коричневое, золотистое, желтое. По таблице находим первые две цифры 3 и 9, множитель – 10. Следовательно, емкость конденсатора составляет 390 пФ. Допуск (четвертая цифра) – ±5%, код ТКЕ – М220.

Перейдем к следующему примеру. Чередование цветов колец на конденсаторе – желтый, фиолетовый, красный. Получаем 4700 пФ, допуск – ±20%. Самостоятельно проверьте это по таблице.

Маркировка *проволочных резисторов* (рис. П5.7) имеет следующие особенности: сначала расположены одна или две серебристые (белые) полосы, затем две полосы, обозначающие сопротивление в омах, далее множитель и допуск (табл. П5.12). Учтите, что полоса множителя может быть окрашена только в золотистый,

черный, коричневый, красный, оранжевый и желтый цвета. Серая полоса допуска означает ±0,01%. Голубая полоса, идущая последней, указывает на термоустойчивость проволочного резистора.

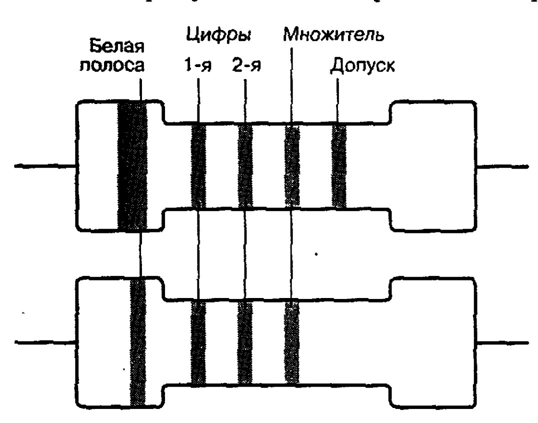


Рис. П5.7. Цветовая маркировка проволочных резисторов

Маркировка *керамических дисковых конденсаторов* имеет некоторые особенности (рис. П5.8). Цвет первой полосы (точки) определяет первые две цифры емкости. Вторая и третья полосы указывают на значение множителя и допуска соответственно, а четвертая – на рабочее напряжение (табл. П5.13).

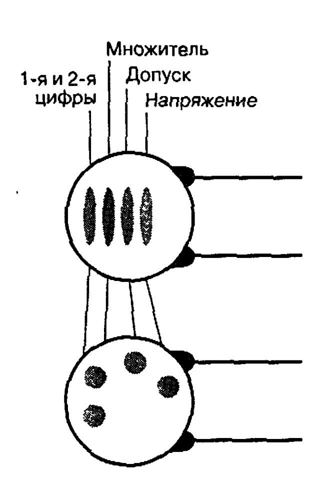


Рис. П5.8. Цветовая маркировка керамических дисковых конденсаторов

Расшифровка маркировки *высоковольтных конденсаторов* (рис. П5.9) особой сложности также не вызывает. Первые две полосы означают цифры емкости, третья – множитель, четвертая – допуск, а пятая – рабочее напряжение (табл. П5.14).

Таблица П5.13. Соответствие цветов в маркировке керамических дисковых конденсаторов рис. П5.8

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Допуск, %	Рабочее напряжение конденсатора, В
Черный	10	1	±20	4
Коричневый	12	10	±1	6,3
Красный	15	10^2	±2	10
Оранжевый	18	10^3	±0,25	16
Желтый	22	10^4	±0,5	40
Зеленый	27	10^5	±5	20 или 25
Голубой	33	10^6	±0,1	30 или 32
Фиолетовый	39	10^7	–20...+50	50
Серый	47	10^8	–20...+80	3,2
Белый	56	10^9	±10	63
Серебристый	68	10^{-2}	–	2,5
Золотистый	82	10^{-1}	–	1,6

Маркировка *танталовых конденсаторов* представлена на рис. П5.10 и в табл. П5.15.

Маркировка *электролитических конденсаторов* указана на рис. П5.11 и в табл. П5.16.

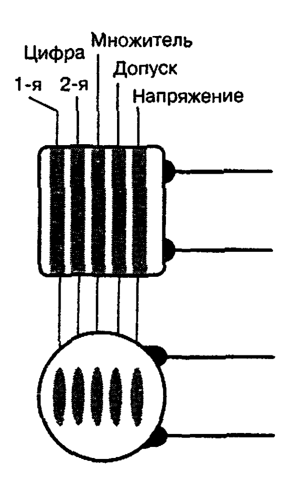


Рис. П5.9. Цветовая маркировка высоковольтных конденсаторов

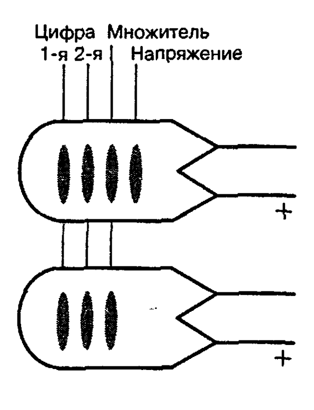


Рис. П5.10. Цветовая маркировка танталовых конденсаторов

Таблица П5.14. Соответствие цветов в маркировке высоковольтных конденсаторов рис. П5.9

Цвет кольца (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Допуск, %	Номинальное напряжение конденсатора, В
Серебристый	–	–	±10	–
Черный	0	–	±20	–
Коричневый	1	10	–	–
Красный	2	10^2	–	250
Оранжевый	3	10^3	–	–
Желтый	4	10^4	–	400
Зеленый	5	10^5	–	–
Голубой	6	–	–	–
Фиолетовый	7	–	–	–
Серый	8	–	–	–
Белый	9	–	–	–

Таблица П5.15. Соответствие цветов в маркировке танталовых конденсаторов рис. П5.10

Цвет полосы	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Золотистый	–	10^{-1}	1,6
Серебристый	–	10^{-2}	2,5
Черный	0	1	4
Коричневый	1	10	6,3
Красный	2	10^2	10
Оранжевый	3	10^3	16
Желтый	4	10^4	40
Зеленый	5	10^5	20 или 25
Голубой	6	10^6	30 или 32
Фиолетовый	7	10^7	50
Серый	8	10^8	3,2
Белый	9	10^9	63

Таблица П5.16. Соответствие цветов в маркировке электролитических конденсаторов рис. П5.11

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Черный	0	10^6	10
Коричневый	1	10^7	–
Красный	2	10^8	–
Оранжевый	3	–	–

Таблица П5.16. Соответствие цветов в маркировке электролитических конденсаторов рис. П5.11 (окончание)

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, пФ	Множитель	Рабочее напряжение конденсатора, В
Желтый	4	–	6,3
Зеленый	5	–	16
Голубой	6	–	20
Фиолетовый	7	–	35
Серый	8	10^8	25
Белый	9	10^9	3

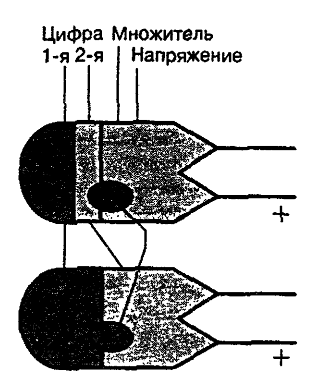


Рис. П5.11. Цветовая маркировка электролитических конденсаторов

В последнее время *малогабаритные* катушки индуктивности маркируются цветными кольцами или точками (рис. П5.12, табл. П5.17).

Таблица П5.17. Соответствие цветов в маркировке катушек индуктивности рис. П5.12

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, мкГн	Множитель	Допуск, %
Золотистый	–	10^{-1}	±5
Серебристый	–	10^{-2}	±10
Черный	0	1	±20
Коричневый	1	10	–
Красный	2	10^2	–
Оранжевый	3	10^3	–
Желтый	4	–	–
Зеленый	5	–	–
Голубой	6	–	–

Таблица П5.17. Соответствие цветов в маркировке катушек индуктивности рис. П5.12 (окончание)

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры, мкГн	Множитель	Допуск, %
Фиолетовый	7	–	–
Серый	8	–	–
Белый	9	–	–

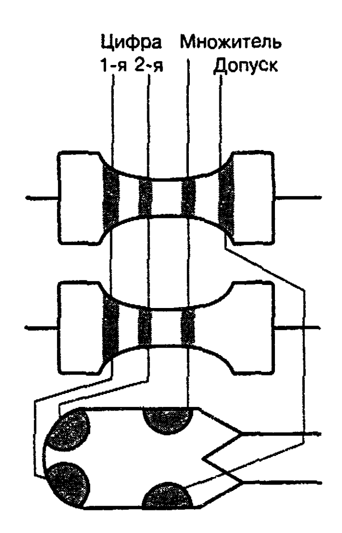


Рис. П5.12. Цветовая маркировка катушек индуктивности

Некоторые отечественные миниатюрные диоды маркировались цветными знаками (табл. П5.18)

Таблица П5.18. Маркировка диодов цветными точками

Тип диода	Метка на корпусе
Д223 (А,Б)	Плюсовой вывод диодов окрашен в красный цвет
Д223	Четыре красные точки
Д223Б	Три красные точки
Д223А	Две красные точки
Д1А–Д1Ж	Плюсовой вывод диодов отмечен цветной точкой
Д9А	Точек нет
Д9Б	Красная
Д9В	Оранжевая
Д9Г	Желтая
Д9Д	Белая
Д9Е	Голубая

Таблица П5.18. Маркировка диодов цветными точками (окончание)

Тип диода	Метка на корпусе
Д9Ж	Зеленая
Д9И	Две желтые
Д9К	Две белые
Д9Л	Две зеленые
	Плюсовой вывод диода окрашен в красный цвет
На одном из выводов диода ставится знак плюс, плюсовой колпачок окрашен в цвет:	
Д10	Зеленый
Д10А	Желтый
Д10Б	Красный
	Маркировка точками
Д11	Зеленая
Д12	Черная
Д12А	Две черных
Д13	Желтая
Д14	Красная
Д14А	Две красных

В цветной маркировке *стабилитронов* закодировано рабочее напряжение стабилизации (рис. П5.13, табл. П5.19). Двойной второй элемент указывает на запятую между цифрами.

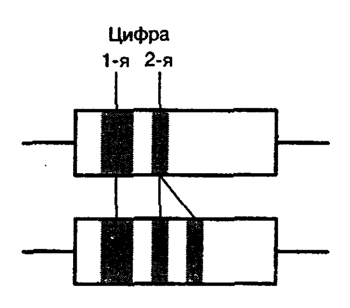


Рис. П5.13. Цветовая маркировка стабилитрона

Из-за многообразия радиокомпонентов и их малых размеров сложно определить по корпусу даже тип *транзистора*. В одинаковых корпусах выпускают самые разные транзисторы, отличить их друг от друга помогает цветовая маркировка. Например, не так давно одни транзисторы отечественного производства цилиндрического типа с отсеченным сегментом маркировали двумя точками (рис. П5.14, табл. П5.20), а другие – четырьмя (рис. П5.15, табл. П5.21).

Таблица П5.19. Соответствие цветов в маркировке стабилитронов рис. П5.13

Цвет полосы (точки)	1-я и 2-я цифры
Черный	0
Коричневый	1
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Голубой	6
Фиолетовый	7
Серый	8
Белый	9

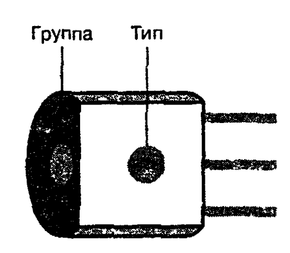


Рис. П5.14. Маркировка транзисторов двумя цветными точками

Таблица П5.20. Соответствие цветов в маркировке транзисторов рис. П5.14

Цвет точки	Тип	Группа
Бордовый	КТ203	А
Желтый	КТ502	Б
Темно-зеленый	КТ3102	В
Голубой	КТ339	Г
Синий	КТ342	Д
Белый	КТ503	Е
Коричневый	КТ326	Ж
Серебристый	КТ632	И
Оранжевый	КТ313, КТ368	К
Табачный	КП364	Л
Серый	КТ309	М

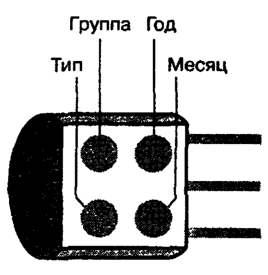


Рис. П5.15. Маркировка транзисторов четырьмя цветными точками

Таблица П5.21. Соответствие цветов в маркировке транзисторов рис. П5.15

Цвет точки	Тип	Группа	Год выпуска	Месяц выпуска
Бежевый	КТ345	Г	1977	Январь
Синий	КТ349	В	–	Февраль
Зеленый	КТ352	И	1985	Март
Красный	КТ337	К	1983	Апрель
Салатовый	–	Ж	1978	Май
Серый	КТ350	Л	–	Июнь
Коричневый	КТ326	–	1984	Июль
Оранжевый	–	Д	1979	Август
Электрик	–	Е	1980	Сентябрь
Белый	КТ645	–	1982	Октябрь
Желтый	КТ354	Б	–	Ноябрь
Голубой	КТ3107	–	1986	Декабрь
Розовый	КТ363	А	–	–
Бирюзовый	–	–	1981	–

Маркировка стабилизаторов напряжения

Интегральные стабилизаторы напряжения не всегда имеют полную маркировку типа. В этом случае на корпусе стоит условный код обозначения (табл. П5.22), который и позволяет определить тип микросхемы. Год и месяц изготовления ИС см. табл. П5.10 и П5.11. Примеры расшифровки кодовой маркировки на корпусе микросхем представлены на рис. П5.16.

Микросхемы стабилизаторов серии 142 с приставкой КР вместо К имеют те же параметры и отличаются только конструкцией корпуса (рис. П5.16в). При маркировке этих микросхем часто используют укороченное обозначение, например вместо КР142ЕН5А наносят КРЕН5А.

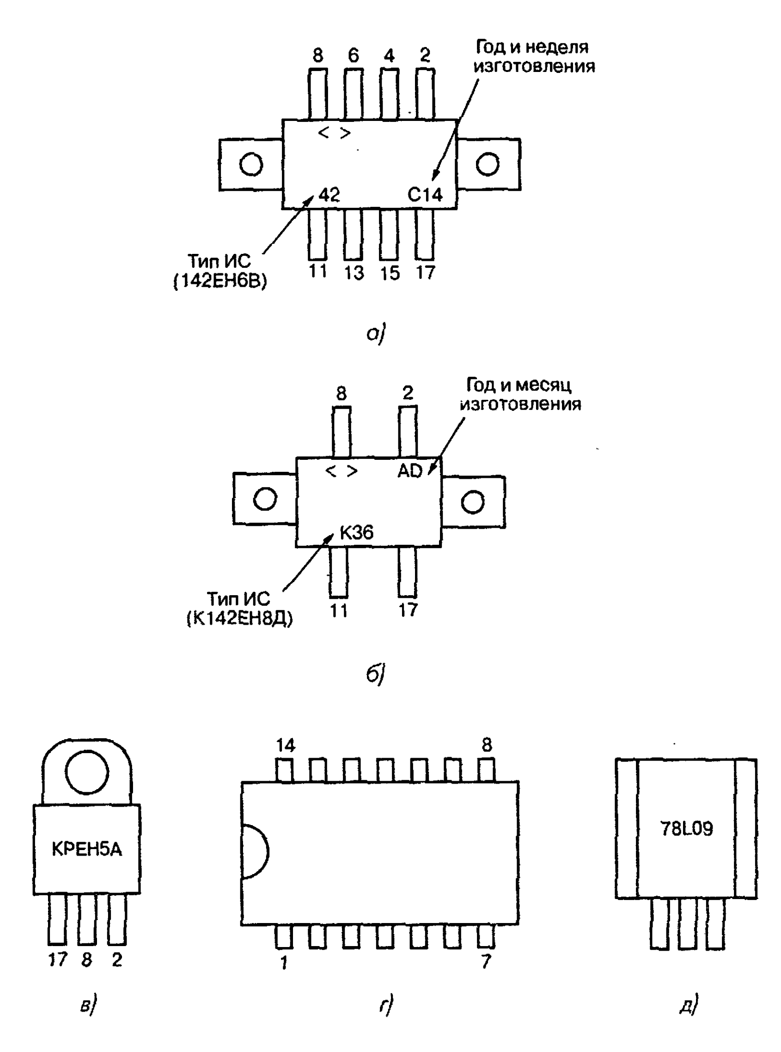


Рис. П5.16. Маркировка интегральных стабилизаторов напряжения

Таблица П5.22. Соответствие типа и маркировки ИС

Наименование микросхемы	Код на корпусе	Тип корпуса (рис. П5.16)
142ЕН1А	06	г
К142ЕН1А	К06	г
142ЕН1Б	07	г
К142ЕН1Б	К07	г

Таблица П5.22. Соответствие типа и маркировки ИС (продолжение)

Наименование микросхемы	Код на корпусе	Тип корпуса (рис. П5-16)
К142ЕН1В	К27	Г
К142ЕН1Г	К28	Г
К142ЕН2А	К08	Г
К142ЕН2Б	К09	Г
142ЕН3	10	А
К142ЕН3А	К10	А
К142ЕН3Б	К31	А
142ЕН4	11	А
К142ЕН4А	К11	А
К142ЕН4Б	К32	А
142ЕН5А	12	Б
К142ЕН5А	К12	Б
142ЕН5Б	13	Б
К142ЕН5Б	К13	Б
142ЕН5В	14	Б
К142ЕН5В	К14	Б
142ЕН5Г	15	Б
К142ЕН5Г	К15	Б
142ЕН6А	16	А
К142ЕН6А	К16	А
142ЕН6Б	17	А
К142ЕН6Б	К17	А
142ЕН6В	42	А
К142ЕН6В	К33	А
142ЕН6Г	43	А
К142ЕН6Г	К34	А
К142ЕН6Д	К48	А
К142ЕН6Е	К49	А
142ЕН8А	18	Б
К142ЕН8А	К18	Б
142ЕН8Б	19	Б
К142ЕН8Б	К19	Б
142ЕН8В	20	Б
К142ЕН8В	К20	Б
К142ЕН8Г	К35	Б
К142ЕН8Д	К36	Б
К142ЕН8Е	К37	Б
142ЕН9А	21	Б
142ЕН9Б	22	Б
142ЕН9В	23	Б
К142ЕН9А	К21	Б
К142ЕН9Б	К22	Б
К142ЕН9В	К23	Б
К142ЕН9Г	К38	Б
К142ЕН9Д	К39	Б
К142ЕН9Е	К40	Б
142ЕН10	24	А
К142ЕН10	К24	А
142ЕН11	25	Б
К142ЕН11	К25	Б

Таблица П5.22. Соответствие типа и маркировки ИС (окончание)

Наименование микросхемы	Код на корпусе	Тип корпуса (рис. П5.16)
К142ЕН12	К47	Б
КР1157ЕН502	78L05	Д
КР1157ЕН602	78L06	Д
КР1157ЕН802	78L08	Д
КР1157ЕН902	78L09	Д
КР1157ЕН1202	78L12	Д
КР1157ЕН1502	78L15	Д
КР1157ЕН1802	78L18	Д
КР1157ЕН2402	78L24	Д
КР1157ЕН2702	78L27	Д
КР1168ЕН5	79L05	Д
КР1168ЕН6	79L06	Д
КР1168ЕН8	79L08	Д
КР1168ЕН9	79L09	Д
КР1168ЕН12	79L12	Д
КР1168ЕН15	79L15	Д
КР1168ЕН18	79L18	Д
КР1168ЕН24	79L24	Д

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСОВ

Для размещения готовых устройств можно подобрать стандартные корпуса, выпускаемые отечественными предприятиями. Описание некоторых из них приведено в табл. П6.1–П6.3.

Таблица П6.1. Корпус с батарейным отсеком

Индекс	Название
BOX-G01B	Корпус с отсеком для элементов питания 101×60×26 мм
BOX-G02B	Корпус с отсеком для элементов питания 123×72×39 мм
BOX-M33	Корпус с перфорацией (для динамика) и батарейным отсеком 74×118×29 мм
BOX-M33A	Корпус с горизонтальным окном и батарейным отсеком 74×118×29 мм
BOX-M33B	Корпус с батарейным отсеком 74×118×29 мм
BOX-M33C	Корпус с окном и батарейным отсеком 74×118×29 мм
BOX-M51	Корпус с батарейным отсеком 74×118×29 мм
BOX-Z32	Корпус с батарейным отсеком 65×110×27 мм
BOX-Z48	Корпус с батарейным отсеком 80×145×35 мм
BOX-Z49	Корпус с окном и батарейным отсеком 80×145×35 мм
BOX-Z55K	Корпус с батарейным отсеком 105×64×28 мм

Таблица П6.2. Корпус для блока питания

Индекс	Название
BOX-KA01	Корпус-вилка 85×60×50 мм
BOX-KA02	Корпус-вилка 80×55×40 мм
BOX-M46	Корпус-вилка 45×70×40 мм
BOX-M47	Корпус-вилка с решеткой 52×70×47 мм
BOX-M48	Корпус-вилка с решеткой 62×73×48 мм
BOX-M49	Корпус-вилка с решеткой 65×90×55 мм
BOX-M56B	Корпус с розеткой 100×115×56 мм
BOX-STG10	Корпус-вилка 110×65×62 мм
BOX-STG20	Корпус-вилка 105×77×47 мм
BOX-Z10	Корпус-вилка 58×72×52 мм
BOX-Z13	Корпус-вилка 47×65×37 мм
BOX-Z13A	Корпус-вилка (без решетки) 45×70×40 мм
BOX-Z21	Корпус-вилка 64×82×55 мм
BOX-Z27	Корпус-вилка с розеткой 70×120×46 мм
BOX-Z30	Корпус-вилка без розетки 70×120×46 мм
BOX-Z31	Корпус с розеткой без вилки 70×120×46 мм
BOX-Z35	Корпус-вилка с решеткой 61×85×52 мм
BOX-Z42	Корпус-вилка с решеткой 50×80×45 мм

Таблица П6.3. Корпус для прибора

Индекс	Название
BOX-G006	Корпус защитный 61×35×23 мм
BOX-G007	Корпус защитный 67×65×37 мм
BOX-G010	Корпус защитный 95×135×45 мм
BOX-G020	Корпус для звуковых устройств 72×50×28 мм
BOX-G021	Корпус прозрачный 72×50×40 мм
BOX-G022	Корпус пластиковый с крепежными кронштейнами 72×50×63 мм
BOX-G023	Корпус пластиковый с крепежными кронштейнами 72×50×27 мм
BOX-G024	Корпус пластиковый с крепежными кронштейнами 72×50×40 мм
BOX-G025	Корпус пластиковый 72×50×21 мм
BOX-G026	Корпус пластиковый 72×50×28 мм
BOX-G027	Корпус пластиковый 72×50×35 мм
BOX-G028	Корпус пластиковый 72×50×42 мм
BOX-G029	Корпус пластиковый 72×50×63 мм
BOX-G070	Корпус защитный 120×50×24 мм
BOX-G080	Корпус стандартный 120×70×20 мм
BOX-G081	Корпус стандартный 120×70×35 мм
BOX-G082	Корпус стандартный 120×70×50 мм
BOX-G083	Корпус стандартный 120×70×65 мм
BOX-G085	Корпус стандартный 120×70×55 мм
BOX-G086	Корпус стандартный 120×70×50 мм
BOX-G087	Корпус стандартный высокий 120×70×65 мм
BOX-G088	Корпус стандартный плоский с прозрачной крышкой 120×70×15 мм
BOX-G089	Корпус стандартный плоский с прозрачной крышкой 120×70×30 мм

Таблица П6.3. Корпус для прибора (окончание)

Индекс	Название
BOX-G100	Корпус для дисплея 130×130×17 мм
BOX-G103	Корпус со съемными панелями 210×110×80 мм
BOX-G201	Корпус с прозрачной панелью 284×160×76 мм
BOX-KA03	Корпус пластиковый 210×120×80 мм
BOX-KA04	Корпус пластиковый 180×100×75 мм
BOX-KA05	Корпус пластиковый 155×80×60 мм
BOX-KA06	Корпус пластиковый 120×75×70 мм
BOX-KA07	Корпус пластиковый с крепежными проушинами 75×55×25 мм
BOX-KA08	Корпус пластиковый 65×45×22 мм
BOX-KA09	Корпус пластиковый 80×55×19 мм
BOX-KA10	Корпус пластиковый 118×78×40 мм
BOX-M01	Корпус пластиковый с крышкой 43×31×22 мм
BOX-M016	Корпус с проушиной 32×32×36 мм
BOX-M19	Корпус пластиковый с крышкой 67×60×20 мм
BOX-M21	Корпус с проушинами 70×55×20 мм
BOX-M22	Корпус пластиковый 83×59×22 мм
BOX-M27	Корпус пластиковый с проушинами 48×68×25 мм
BOX-M31	Корпус пластиковый с ушками и крышкой 65×40×31 мм
BOX-M31NP	Корпус с проушинами 110×78×32 мм
BOX-M358N	*Корпус со съемными панелями 64×88×35 мм*
BOX-M42BN	Корпус пластиковый со съемными панелями 90×64×42 мм
BOX-M52	Корпус пластиковый, цилиндрический (D = 52 мм, H = 30 мм)
BOX-M54P	Корпус пластиковый 90×63×32 мм
BOX-M55	Корпус пластиковый с крышкой 118×66×38 мм
BOX-Z14	Корпус для ПДУ 49×150×22 мм
BOX-Z24	Корпус пластиковый 47×66×38 мм
BOX-Z24A	Корпус пластиковый 47×66×24 мм
BOX-Z24AU	Корпус пластиковый с проушинами 48×66×15 мм
BOX-Z24U	Корпус пластиковый с проушинами 48×66×30 мм
BOX-Z25	Корпус со съемными верхней и задней панелями 220×220×78 мм
BOX-Z33A	Корпус пластиковый с наклонной панелью 190×140×47×33 мм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение остается напомнить, что множество полезных советов для радиолюбителя-конструктора можно найти в журналах «Радио», «Радиолюбитель», «Радиохобби» и других. Они посвящены разработке и изготовлению печатных плат, различных приспособлений для монтажа, облегчающих труд радиолюбителя, усовершенствованию паяльников, приемам лужения и пайки, новым технологиям и многому другому.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бастанов В. Г. 300 практических советов. – М.: Московский рабочий, 1993.
2. Бессонов В. В. Электроника для начинающих и не только. – М.: Солон-Р, 2001.
3. Борисов В. Г. Энциклопедия юного радиолюбителя-конструктора. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Солон-Р, 2001.
4. Колобов Б. Некоторые рекомендации. – М.: ДОСААФ, 1990. – (В помощь радиолюбителю; вып. 108).
5. Мацкевич В. В. Занимательная радиоэлектроника. – М.: ДОСААФ, 1986.
6. Пестриков В. М. Энциклопедия радиолюбителя. – СПб.: Наука и техника, 2000.
7. Справочник по печатным схемам / Под ред. Б. Н. Файзулаева и В. Н. Квасницкого. – М.: Советское радио, 1972.
8. Терещук Р. М., Терещук К. М., Седов С. А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. – 2-е изд. – Киев, 1982.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

NT PRESS

Николаенко М. Н.

СЕКРЕТЫ РАДИОЛЮБИТЕЛЯ-КОНСТРУКТОРА

Всем известно, что можно прекрасно знать теорию, но, когда дело касается практической части – изготовления и наладки электронных устройств, возникает немало вопросов. Как организовать свое рабочее место? Как выбрать припой и флюс и научиться качественно паять? Как самому изготовить печатную плату и смастерить корпус для прибора? Здесь вы найдете ответы на эти и многие другие вопросы.

Издание предназначено для широкого круга читателей – не только начинающих, но и опытных радиолюбителей, занимающихся проектированием и изготовлением радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Оно также будет полезно работникам ремонтных мастерских.

В помощь радиолюбителю

ISBN 5-477-00004-X



Москва, Звездный бульвар,
дом 21, 7-й этаж
Тел. 615-43-38, 615-01-01,
615-55-13